

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



UPAGU

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

**INFLUENCIA DEL TIEMPO Y ESPESOR DE CAPA DE CALIZA SOBRE LA
REMOCIÓN DE HIERRO TOTAL Y SULFATOS MEDIANTE UN HUMEDAL
ARTIFICIAL DE UN DRENAJE ÁCIDO DE MINAS DEL DISTRITO DE
HUALGAYOC, CAJAMARCA 2020**

Autor:

Wilder Cieza Zamora

Miguel Ángel Guevara Terrones

Asesor:

Mg. Ing. Gary Christiam Farfán Chilicaus

Cajamarca – Perú

Octubre – 2020

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO



Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos

**INFLUENCIA DEL TIEMPO Y ESPESOR DE CAPA DE CALIZA SOBRE LA
REMOCIÓN DE HIERRO TOTAL Y SULFATOS MEDIANTE UN HUMEDAL
ARTIFICIAL DE UN DRENAJE ÁCIDO DE MINAS DEL DISTRITO DE
HUALGAYOC, CAJAMARCA 2020**

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

Bach. Wilder Cieza Zamora

Bach. Miguel Ángel Guevara Terrones

Asesor: Mg. Ing. Gary Christiam Farfán Chilicaus

Cajamarca – Perú

Octubre – 2020

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y

PREVENCIÓN DE RIESGOS

APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL

INFLUENCIA DEL TIEMPO Y ESPESOR DE CAPA DE CALIZA SOBRE LA

REMOCIÓN DE HIERRO TOTAL Y SULFATOS MEDIANTE UN HUMEDAL

ARTIFICIAL DE UN DRENAJE ÁCIDO DE MINAS DEL DISTRITO DE

HUALGAYOC, CAJAMARCA 2020

Presidente: _____

Secretario: _____

Vocal: _____

Asesor: _____

COPYRIGHT © 2020 by
WILDER CIEZA ZAMORA
MIGUEL ÁNGEL GUEVARA TERONES
Todos los derechos reservados

A:

A mis padres, Antero y Brisaida, que son mi pilar fundamental y apoyo en mi formación académica, me han dado todo lo que soy como persona, valores, principios, perseverancia, todo ello de una manera desinteresada, y lleno de amor.

A mis hermanos, (Arbel, Nilson, Alex, Esly) que han sido un ejemplo para seguir sus pasos y lucha para alcanzar mis metas.

Wilder Cieza Zamora.

A mis padres, hermana, y familiares que estuvieron para apoyarme y darme los mejores consejos para poder encaminar y lograr mis metas.

A quien en su afán de quererme y darme su apoyo y también me dio su amor en los momentos más difíciles haciendo que los problemas sean más fáciles de resolver (Nataly).

Miguel Ángel Guevara Terrones.

AGRADECIMIENTO:

Agradecemos a Dios todo poderoso, por darnos la vida y guiar nuestros pasos durante nuestra época universitaria para lograr nuestras metas trazadas.

Gracias a nuestros padres, por inculcarnos valores y ser mejores personas y afrontar los retos y durezas de la vida.

Agradecemos a la “Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo” por abrirnos sus puertas y brindarnos el soporte académico para formarnos como profesionales.

Agradecemos al Mg. Gary Christiam Farfán Chilicaus, por darnos el apoyo para desarrollar nuestro proyecto de tesis.

Agradecemos a los ingenieros de la Dirección Regional de Energía Y Minas – Cajamarca por brindarnos la confianza y conocimientos para desarrollar este proyecto de tesis.

RESUMEN

El proyecto titulado “Influencia del Tiempo y el Espesor de Capa Caliza Sobre la Remoción De Hierro Total y Sulfatos Mediante un Humedal Artificial de un Drenaje Ácido de Minas del Distrito de Hualgayoc, Cajamarca 2020.” se realizó en el Distrito de Baños del Inca, Provincia de Cajamarca, Departamento de Cajamarca, con agua ácida de la quebrada el sinchao, el objetivo principal es, determinar la influencia del tiempo de remoción y el espesor de capa de caliza sobre la remoción de hierro total y sulfatos mediante un humedal artificial de un drenaje ácido de minas, el estudio se realizó en tres fases campo, laboratorio y gabinete, En la fase de campo se construyó una planta piloto a escala, utilizando el proceso de tipo Batch, la cual se utilizó grava, Sustrato y totora (*Scirpus Californicus*.) El agua ácida proveniente de pasivos ambientales mineros de la antigua minería, estas aguas fueron sometidas a un tratamiento, en la cual se determinó el tiempo más óptimo que es de 36 h y un espesor de capa de 20 Cm, la cual se obtuvo un agua que cumple con los estándares de calidad ambiental.

Palabras claves: Drenaje ácido de mina, tiempo de remoción, humedal artificial, concentración del hierro, Sulfatos.

ABSTRACT

The project entitled "Influence of Time and Limestone Layer Thickness on the Removal of Total Iron and Sulfates Through an Artificial Wetland of an Acid Mine Drainage of the District of Hualgayoc, Cajamarca 2020." It will continue in the District of Hualgayoc, Province of Hualgayoc, Department of Cajamarca in the quebrada el sinchao, the main objective is to determine the influence of the removal time and the thickness of the limestone layer on the removal of total iron and sulfates through a artificial wetland of an acid mine drainage the study will be carried out in three phases: field, laboratory and cabinet. In the field phase, a scale pilot plant will be built, using the Batch type process, which will use gravel and cattail (*Scirpus Californicus*.) The acidic water from mining environmental liabilities from the old mining, these waters will be subjected to a treatment, to determine the time of elimination of iron and sulfates in an artificial wetland.

Keywords: acid mine drainage, removal time, constructed wtland, iron concentration, sulfates.

CONTENIDO

DEDICATORIA :	i
AGRADECIMIENTO:	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
CONTENIDO	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS.....	ix
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
1.3.1. General.	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Justificación e importancia.	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	4
2. Fundamentos teóricos de la investigación.....	4
2.1. Antecedentes teóricos.....	4
2.2. Marco teórico	6
2.2.1. La Minería en el Perú.	6
2.2.2. Humedales Naturales.....	6
2.2.3. Humedales Artificiales.....	6
2.2.4. Funciones de los Humedales Artificiales.	7
2.2.5. Drenaje ácido de Mina.	8
2.2.6. Generación de aguas ácidas.....	9
2.2.7. Neutralización de las aguas ácidas.	11
2.2.8. Dimensionamiento de Humedal Artificial Anaerobio Tipo Batch.....	12
2.2.9. Plantas en el Tratamiento de Aguas.	12
2.2.10. Marco legal.....	12

2.3.	Marco conceptual	14
2.3.1.	Metales	14
2.3.2.	Concentración.....	14
2.3.3.	Drenaje ácido de Mina.	15
2.3.4.	Sulfatos.....	15
2.3.5.	Hierro.	15
2.3.6.	Adsorción.	16
2.3.7.	Tiempo de Remoción.	16
2.4.	Hipótesis de la investigación.....	16
2.4.1.	Operacionalización de las variables.	17
CAPÍTULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....		18
3.1.	Tipo de investigación.	18
3.2.	Diseño de investigación.	19
3.2.1.	Experimental	19
3.2.2.	Hipotético – deductivo	20
3.3.	Área de investigación.....	20
3.4.	Población.....	24
3.5.	Muestra.....	24
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	24
3.7.	Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.....	25
3.8.	Interpretación de datos	26
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		27
4.1.	Resultados	27
4.1.1.	Caracterización del drenaje ácido de mina - Quebrada el Sinchao Hualgayoc.....	27
4.1.1.1.	Toma de la muestra	27
4.1.1.2.	Comparación de resultados de muestra inicial con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Categoría 3.....	28
4.1.2.	Diseño de los humedales artificiales.	31
4.1.3.	Diseño de toma de muestras del agua tratada en los Humedales Artificiales.	32
4.1.4.	Resultados obtenidos.....	33
4.1.4.1.	Remoción De Hierro	33

a.	Análisis estadístico respecto a la Remoción de Hierro	34
-	ANOVA de un solo factor: REMOCIÓN DE HIERRO vs TIEMPO DE RETENCIÓN.	34
-	ANOVA de un solo factor: REMOCIÓN DE HIERRO vs HUMEDAL.....	39
b.	Discusión de resultados para la Remoción de Hierro.....	45
4.1.4.2.	Remoción de Sulfatos.....	46
a.	Análisis estadístico respecto a la Remoción de Sulfatos.....	47
-	ANOVA de un solo factor: REMOCIÓN DE SULFATOS vs TIEMPO DE RETENCIÓN	47
-	ANOVA de un solo factor: REMOCIÓN DE SULFATO vs HUMEDAL.....	53
b.	Discusión de resultados para la Remoción de Sulfatos	60
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		62
5.1.	CONCLUSIONES	62
5.2.	RECOMENDACIONES	64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		65
ANEXOS.....		68
ANEXO A.....		68
ANEXO B.....		84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Plantas acuáticas posibles reductoras de contaminantes	7
Figura 2: Punto de desfogue de agua de las piscinas	25
Figura 3: Comparación del parámetro de Hierro	29
Figura 4: Comparación del parámetro de sulfatos	30
Figura 5: Diseño de humedal 1	31
Figura 6: Diseño de humedal 2	31
Figura 7: Vista de los humedales con las plantas utilizadas	32
Figura 8: Gráfica de comparaciones en parejas de Tukey para Remoción de Hierro vs Tiempo de Retención - Agua Tratada	37
Figura 9: Gráfica de intervalos para Remoción de Hierro vs Tiempo de Retención - Agua Tratada	38
Figura 10: Gráfica de comparaciones en parejas de Tukey para Remoción de Hierro vs Humedal 42	
Figura 11: Gráfica de intervalos para Remoción de Hierro vs Humedal	43
Figura 12: Gráfica de cajas para para Remoción de Hierro vs Humedal	44
Figura 13: Gráfica de comparaciones en parejas de Tukey para Remoción de Sulfatos vs Tiempo de Retención - Agua Tratada	50
Figura 14: Gráfica de intervalos para Remoción de Sulfatos vs Tiempo de Retención - Agua Tratada	51
Figura 15: Gráfica de cajas para Remoción de Sulfatos vs Tiempo de Retención - Agua Tratada .	52
Figura 16: Gráfica de comparaciones en parejas de Tukey para Remoción de Sulfatos vs Humedal	56
Figura 17: Gráfica de intervalos para Remoción de Sulfatos vs Humedal	58
Figura 18: Gráfica de cajas para para Remoción de Sulfatos vs Humedal	59

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Concentración de contaminantes típicos en aguas ácidas de mina.	8
Tabla 2: Bacterias de las menas sulfuradas y sus condiciones de crecimiento.	11
Tabla 3: Operacionalización de variables	17
Tabla 4: Ubicación de la estación de muestreo	28
Tabla 5: Diseño de la toma de muestra del punto 1 – Hualgayoc	28
Tabla 6: Evaluación de calidad de agua con los ECA – Categoría 3	29
Tabla 7: Diseño de toma de muestras del agua tratada en los humedales para los parámetros de Hierro y Sulfatos	33
Tabla 8: Resultados obtenidos del agua tratada para el parámetro de Hierro	33
Tabla 9: Hipótesis estadística de ANOVA para Remoción de Hierro vs Tiempo de Retención - Agua Tratada.....	34
Tabla 10: Análisis de varianza para Remoción de Hierro vs Tiempo de Retención - Agua Tratada.....	34
Tabla 11: Medias para resultados de Remoción de Hierro vs Tiempo de Retención - Agua Tratada	35
Tabla 12: Comparaciones en parejas de Tukey para Remoción de Hierro vs Tiempo de Retención - Agua Tratada.....	35
Tabla 13: Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias para Remoción de Hierro vs Tiempo de Retención - Agua Tratada.....	36
Tabla 14: Hipótesis estadística de ANOVA para Remoción de Hierro vs Humedal	39
Tabla 15: Análisis de varianza para Remoción de Hierro vs Humedal.....	39
Tabla 16: Medias para resultados de Remoción de Hierro vs Humedal	40
Tabla 17: Comparaciones en parejas de Tukey para Remoción de Hierro vs Humedal	41
Tabla 18: Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias para Remoción de Hierro vs Humedal.....	41
Tabla 19: Resultados obtenidos del agua tratada para el parámetro de Sulfatos.....	46
Tabla 20: Hipótesis estadística de ANOVA para Remoción de Sulfatos vs Tiempo de Retención - Agua Tratada.....	47
Tabla 21: Análisis de varianza para Remoción de Sulfatos vs Tiempo de Retención - Agua Tratada	47
Tabla 22: Medias para resultados de Remoción de Sulfatos vs Tiempo de Retención - Agua Tratada	48
Tabla 23: Comparaciones en parejas de Tukey para Remoción de Sulfatos vs Tiempo de Retención - Agua Tratada.....	49
Tabla 24: Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias para Remoción de Sulfatos vs Tiempo de Retención - Agua Tratada.....	49
Tabla 25: Hipótesis estadística de ANOVA para Remoción de Sulfato vs Humedal	53
Tabla 26: Análisis de varianza para Remoción de Sulfato vs Humedal.....	53

Tabla 27: Medias para resultados de Remoción de Sulfato vs Humedal	54
Tabla 28: Comparaciones en parejas de Tukey para Remoción de Sulfato vs Humedal	55
Tabla 29: Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias para Remoción de Sulfatos vs Humedal.....	56

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1. Planteamiento del problema.

1.1. Descripción de la realidad problemática.

En la Provincia de Hualgayoc los pasivos mineros están totalmente abandonados expuestos, contaminando fuentes de agua, que afectan a las poblaciones de influencia y ecosistemas; en la zona del Sinchao existen 17 pasivos mineros que representan un alto índice de riesgo para la población, que requieren un tratamiento prioritario y rápido con medidas de urgencia. (De Echave, 2019).

La explotación minera ha generado una continua contaminación proveniente de los pasivos ambientales mineros de la actividad minera del pasado, generando aguas ácidas que no son controladas o tratadas y provocan la alteración y daño al ecosistema, que hoy se ven reflejados en la problemática ambiental que atraviesa el recurso hídrico en la provincia de Hualgayoc. (Aguilar &, Aguilar, 2017).

El agua ácida proveniente de la antigua explotación minera está generando un problema que presenta un riesgo de contaminación debido al contenido de metales pesados y la acides de esta agua, generando un impacto ambiental negativo, generado por el drenaje ácido, que es producto de la actividad de explotación de minerales. (Parada, Vergara &; Sánchez, 2018)

Durante varios años los pasivos mineros del Sinchao que han sido abandonados, generando un drenaje ácido por lo tanto es la fuente contaminante de las diferentes quebradas aguas abajo, causando también la contaminación del río Tingo Maygasbamba, afectando a los cultivos de los agricultores de las partes bajas.

Ante este problema se plantea realizar el proyecto de investigación basado en una planta piloto a escala, para la remoción de hierro total y sulfatos, mediante un humedal artificial, como alternativa de solución y disminuir el porcentaje de contaminación del recurso hídrico.

1.2. Definición del problema

¿Cuál es la influencia del tiempo y el espesor de capa de caliza sobre la remoción de hierro total y sulfatos mediante un humedal artificial de un drenaje ácido de minas del distrito de Hualgayoc Cajamarca -2020?

1.3. Objetivos

1.3.1. General.

- Determinar la influencia del tiempo y el espesor de la capa de óxido de calcio sobre la remoción de hierro total y sulfatos mediante un humedal artificial de un drenaje ácido de mina del distrito de Hualgayoc, Cajamarca 2020.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Determinar el tiempo de retención para la remoción de hierro y sulfatos del drenaje ácido de mina en humedales artificiales.
- Establecer el espesor de óxido de calcio para una adecuada remoción de hierro y sulfatos del drenaje ácido de mina en Humedales artificiales.
- Comparar los resultados de hierro total, hierro disuelto y sulfatos, con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aguas – Categoría 3.

1.4. Justificación e importancia.

La naturaleza de este proyecto de investigación se justifica ya que en la actualidad existen 17 pasivos ambientales mineros por remediar provenientes de la antigua minería, poseen un fuerte impacto en los recursos hídricos, se ve reflejado en el deterioro del ecosistema, por las aguas ácidas, estas aguas discurren hacia las partes bajas uniéndose con otras quebradas y uniéndose al río Tingo Maygasbamba, provocando daños ambientales, esta investigación ayudara a dar un resultado a este problema mediante una planta piloto a escala, mediante un humedad artificial utilizando.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2. Fundamentos teóricos de la investigación.

2.1. Antecedentes teóricos.

Cadillo (2018) en su tesis de grado de la Universidad Nacional “Federico Villarreal” denomina “propuesta de mejoramiento de la calidad de las aguas ácidas que drenan del pasivo ambiental de la mina Nuncia mediante el uso de bacterias sulfato reductoras ataquero – Carhuaz – Ancash-2018” tenía como objetivo, de qué manera influye el tratamiento de aguas ácidas mediante el uso de bacterias sulfato-reductoras al mejoramiento de la calidad de las aguas ácidas que drenan del pasivo ambiental de la mina Nuncia con un diseño de investigación experimental utilizando plantas, guanos de animal y suelos orgánicos, llegando al resultado de los análisis del agua con un sistema instalado con los resultados iniciales en la etapa de caracterización del agua ácida se observaron algunos cambios en los cuales se evidencia la reducción para la concentración del metal cobre en disolución valores aceptables y una mejor manera para los demás parámetros como el plomo, hierro y zinc.

Salvador (2015), en su tesis de grado presentado por la universidad nacional del centro del Perú, denominado “recuperación de los metales pesados presentes en el drenaje ácido de mina mediante la precipitación selectiva para su posterior utilización” que tenía como objetivo que efecto tiene la precipitación selectiva en la

recuperación de metales pesados presentes en el drenaje ácido de mina de los pasivos ambientales de alto riesgo en la región de Junín en el año 2015, empleando un diseño de investigación experimental, llegando al siguiente resultado respecto al zinc, se encuentra que se requiere mayores niveles de PH para su recuperación pues en los tres primeros niveles analizados, la concentración no ha variado significativamente, mientras que para los dos últimos niveles (tratamiento pHC y pHD), se obtiene una concentración de Zinc imperceptible

López (2018) en su tesis presentado por la universidad nacional del centro del Perú denominado “administración estratégica para el tratamiento de aguas ácidas de mina mediante humedales artificiales en Nyrstar Coricancha S.A.” que tiene como objetivo conocer el efecto que causa la aplicación de la administración estratégica en el tratamiento de aguas ácidas de mina mediante humedales artificiales en Nyrstar Coricancha A.A. utilizando el método de investigación experimental, llegando a al siguiente resultado, Nyrstar Coricancha S.A. cuenta con una planta de tratamiento de aguas ácidas, se toman muestras del agua de mina al ingreso de la planta de tratamiento y muestras al final del proceso de la planta de tratamiento con una frecuencia diaria de monitoreo para el mes de noviembre del 2017, se presentan los resultados de caudal, acidez, total de sólidos en suspensión, contenido de metales disueltos (cobre, plomo, zinc, fierro, arsénico y cianuro) en los dos puntos de muestreo, fueron variando a través del tiempo.

2.2. Marco teórico

2.2.1. La Minería en el Perú.

El Perú formo parte de la actividad minera hace muchos años atrás, el primer minero fue Francisco Pizarro en 1535. En la época antigua contaban con otro método de extracción de los minerales utilizando algunos insumos tóxicos como el cianuro y mercurio y no contaban con medias medioambientales que hoy en día es un problema. (Grasa Evaristo, 2015)

2.2.2. Humedales Naturales.

Los Humedales tienen ciertas características biológicas, físicas y químicas, que les confieren un elevado potencial autodepurador. Los humedales ocupan el espacio que hay entre los medios húmedos y los medios, el principal factor es el agua ya que controla el medio y la vida vegetal. (Hammer y Bastian, citado por Llagas 2009).

2.2.3. Humedales Artificiales.

Los humedales artificiales es un sistema de Fitodepuración de aguas ácidas, también eliminan contaminantes mediante varios procesos físicos, químicos y biológicos, los humedales tienen tres funciones para el tratamiento de aguas, fijan físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la

materia orgánica, utilizan y transforman los elementos por medio de los microorganismos, son diseñados específicamente para separar los contaminantes de las aguas ácidas.

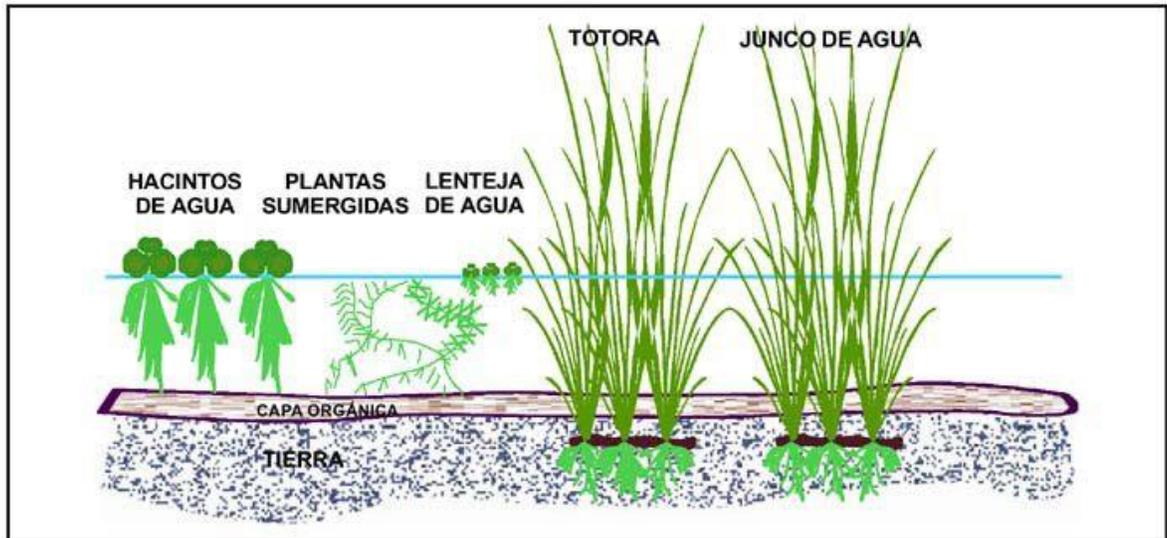


Figura 1: Plantas acuáticas posibles reductoras de contaminantes
Fuente: Tchobanoglous, 1994

2.2.4. Funciones de los Humedales Artificiales.

Los humedales tienen tres funciones básicas que los hacen tener un atractivo potencial para el tratamiento de aguas, son las siguientes Fijan los contaminantes presentes en la superficie del suelo y la materia orgánica, Utilizan y transforman los elementos por intermedio de los microorganismos, Logran niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento. (M. Martínez, D. Murcia & Y. Suarez, 2015).

2.2.5. Drenaje Ácido de Mina.

Los drenajes de mina provienen de los minerales sulfuros, que ocurre de forma natural, genera una preocupación ambiental con estas aguas ácidas, que contiene metales pesados, el drenaje ácido es el resultado de la oxidación de minerales, provenientes de rocas. El desarrollo de DAM es un proceso que depende de tiempo estos abarcan procesos de oxidación química, biológica y estos drenajes ácidos contienen elementos contaminantes que sobrepasan los límites establecidos para el recurso hídrico que drene de un asiento minero, ocasionando impactos ambientales negativos, también DAM contienen altos niveles de acides, sulfatos, hierro, cobre, y lixiviados con otros metales alterando la calidad del agua. (Moreno, A. 2017).

Tabla 1: *Concentración de contaminantes típicos en aguas ácidas de mina.*

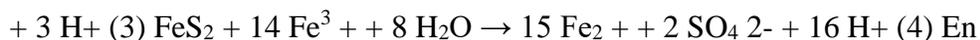
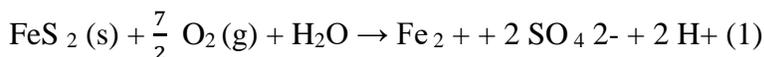
Parámetro	concentración (mg/L)
PH	2.1 - 6.9
Sulfatos	20 - 4000
Aluminio	18 - 100
Arsénico	<0.001 - 7
Cadmio	< 0.01 - 3
Hierro	0.5 -700
Plomo	<0.01 - 0.5
Manganeso	1.0 - 120

Fuente: Kadlec y Knight., (1996).

El agua contaminada es el resultado del drenaje de mina originada por la explotación minera ya sea superficial o profunda, que contiene una elevada acidez, rica en sulfato y con niveles elevados de metales pesados, sobre todo hierro, manganeso y aluminio debidamente a la cantidad de hierro oxidado, el drenaje de mina es a menudo rojizo soleado (Gamondal,2010).

2.2.6. Generación de aguas ácidas.

La fuente de generación de las aguas ácidas son los minerales sulfurosos reactivos, que entran en contacto con el agua o atmosfera húmeda y el oxígeno y el principal componente de la formación de las aguas ácidas es la pirita esta oxidación se ve favorecida en áreas mineras debido a la facilidad con que el aire entra en contacto con los sulfuros. Las reacciones que intervienen en la oxidación de la pirita pueden ser representadas por las siguientes ecuaciones.



En la reacción de oxidación de la pirita (1) se produce Fe_2^{++} , SO_4^{2-} e H^+ . Esta reacción provoca un incremento en el total de sólidos disueltos y un aumento de la acidez, que irá asociado a una disminución del pH. Si el ambiente circundante es lo suficientemente oxidante, entonces muchos iones ferrosos

se oxidarán a iones férricos (etapa 2). Por lo general, por encima de un pH alrededor de 3,5, el ion férrico formado precipita mediante hidrólisis como hidróxido (3), disminuyendo por tanto el Fe^{3+} en solución, mientras que el pH baja simultáneamente. Por último, algunos cationes férricos (Fe^{3+}) que se mantienen en solución, pueden seguir oxidando adicionalmente a la pirita y formar Fe_2SO_4 y H^+ (4). Cinéticamente, la oxidación del Fe_2SO_4 a Fe^{3+} es la reacción más lenta a pH ácido. A pH por encima de 4 la velocidad de la reacción aumenta drásticamente, casi todo el Fe está en forma de Fe^{3+} y precipita como hidróxido (3). A pH por debajo de 4, sin embargo, la mayoría del Fe en solución es Fe_2SO_4 , aunque la acción bacteriana (*Thiobacillus ferrooxidans*) consigue acelerar el proceso y que progresivamente el Fe_2SO_4 pase a Fe^{3+} . Parte del Fe^{3+} se emplea en oxidar más pirita (4) y parte precipita como hidroxisulfatos (schwerimannita a pH entre 3 y 3,5; y jarosita a pH inferior a 3). (López, 2011).

Tabla 2: *Bacterias de las menas sulfuradas y sus condiciones de crecimiento.*

Microorganismo	PH	Temperatura °C	Aerobio	Nutrición
<i>Thiobacillus thioparus</i>	4.5 - 10	10-37	+	Autotrópico
<i>T. ferrooxidans</i>	0.5 - 6.0	15-25	+	“
<i>T. thiooxidans</i>	0.5 - 6.0	10-37	+	“
<i>T. neapolitanus</i>	3.0 - 8.5	8-37	+	“
<i>T. denitrificans</i>	4.0 - 9.5	10-37	+/-	“
<i>T. novellus</i>	5.0 - 9.2	25-35	+	“
<i>T. intermedius</i>	1.9 - 7.0	25-35	+	“
<i>T. perometabolis</i>	2.8 - 6.8	25-35	+	“
<i>sulfolobus acidocalderuis</i>	2.0 - 0.5	55-85	+	“
<i>desulfovibria desulfuricans</i>	5.0 - 9.0	10-45	-	Heterotrópico

Fuente: Villaseñor 2002.

2.2.7. Neutralización de las aguas ácidas.

Luego de la oxidación de los minerales sulfurosos los productos ácidos resultantes pueden ser arrastrados por infiltraciones de agua; existen una variedad de minerales que pueden consumir acidez y neutralizar el drenaje ácido. Entre los minerales que consumen ácido se encuentran, los carbonatos (calcita) silicatos (clorita) arcillas el mineral más común es la calcita. (Aduvire, 2019).

2.2.8. Dimensionamiento de Humedal Artificial Anaerobio Tipo Batch.

Las balsas orgánicas pueden realizar en la entrada del agua ácida o el tiempo de residencia del agua del agua en el sistema de tratamiento, según la acidez del agua se obtendrán los resultados en las diferentes experiencias de campo y laboratorio que permitirán la tasa media de eliminación de acidez que proporciona este sistema de tratamiento (Watzlaf y Hyman citado por Farfán, 2012).

2.2.9. Plantas en el Tratamiento de Aguas.

El sistema de plantas para el tratamiento de aguas en una planta piloto a escala, en los humedales se constituyen diferentes especies de plantas son lenteja de agua esta planta recibe nutrientes minerales que contiene el agua, totora, juncos, estas plantas son más frecuentes captando metales pesados. (*Reed en Kolb, citado por Delgadillo 2010*).

2.2.10. Marco legal.

2.2.10.1. Ley General del Ambiente – Ley N° 28611.

Establece los principios y normas básicas para asegurar el efectivo ejercicio del derecho a un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, así

como el cumplimiento y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de la población y lograr el desarrollo sostenible del país.

2.2.10.2. Ley de Recursos Hídricos – Ley N° 29338.

Según el Artículo 83°, está prohibido verter sustancias contaminantes y residuos de cualquier tipo en el agua y en los bienes asociados a ésta, que representen riesgos significativos según los criterios de toxicidad, persistencia o bioacumulación. La Autoridad Ambiental respectiva, en coordinación con la Autoridad Nacional, establece los criterios y la relación de sustancias prohibidas.

2.2.10.3. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM: Estándares de Calidad del Agua (ECA) para Agua.

Establece los niveles de concentración de los elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos que no represente riesgos significativos para la salud de las personas

ni para el ambiente. Las normas que regulan la concentración de plomo y hierro en el agua, se dan en el Decreto Supremo N° 004- 2017- MINAM, las cuales son aplicados en el ámbito nacional que considera las siguientes precisiones:

- Categoría 1: Poblacional y Recreacional
- Categoría 2: Actividades Marino Costeras
- Categoría 3: Riego de Vegetales y Bebida de Animales
- Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático

2.3.Marco conceptual

2.3.1. Metales

“Son aquellos que poseen altas densidades y generalmente son sólidos a condiciones ambiente, son buenos conductores de electricidad y el calor, tienen tendencia a formar iones positivos en los compuestos iónicos” (Colín & Cann, 2014).

2.3.2. Concentración.

“Llamado concentración de una sustancia, elemento o compuesto en un líquido, la relación existente entre su peso y el volumen del líquido que lo contiene” (Marín y Corre 2010).

2.3.3. Drenaje Ácido de Mina.

Es el resultado de la oxidación de los sulfuros minerales que entran en contacto con el agua, oxígeno y aire.

2.3.4. Sulfatos.

“El sulfato se puede encontrar en todas las aguas naturales, la alta concentración de sulfatos en el agua puede tener un efecto negativo, cuando se combina con los metales presentes” (Rojas & Valdivia y Vílchez, 2019).

2.3.5. Hierro.

El hierro es un elemento metálico, magnético, maleable y de color blanco plateado. Tiene de número atómico 26 y se encuentra en el grupo 8 de la tabla periódica. Es obtenido de la naturaleza de 2 fuentes diferentes: los óxidos de hierros y los carbonatos de hierro. Los principales minerales de hierro son las hematites, la magnetita, la siderita y la limonita. La pirita que es un sulfuro de hierro, no se procesa como mineral de hierro porque el azufre es muy difícil de eliminar. También existen pequeñas cantidades de hierro combinadas con aguas naturales y en las plantas; además, es un componente de la sangre (Ramírez, 2008).

2.3.6. Adsorción.

Es la atracción y retención de partículas, mediante un proceso físico o químico con el fin de absorber materia de una fase y se concentra en una superficie, formando laminas moleculares o atómicas (Lagos, 2016).

2.3.7. Tiempo de Remoción.

Es el tiempo de remoción de hierro total y sulfatos del drenaje ácido de mina en relación al tiempo en los humedales, es también aplicado describir que las concentraciones totales de hierro y sulfatos disminuyan mediante el proceso.

2.4. Hipótesis de la investigación

H1: El Tiempo de contacto entre la caliza y el drenaje ácido de mina del Distrito de Hualgayoc influye para la remoción de hierro total y sulfatos.

H2: El espesor de capa de caliza Influye en la remoción de hierro total y sulfatos para el drenaje ácido de mina del Distrito de Hualgayoc.

2.4.1. Operacionalización de las variables.

Tabla 3: Operacionalización de variables

Variable Independiente	Definición	Indicadores	Ítem	Instrumentos
Tiempo de remoción	Es la duración de tiempo para la eliminación de un determinado contaminante.	<ul style="list-style-type: none"> • 12 horas • 24 horas • 36 horas 	h	Cronómetro
Espesor de capa de caliza	Cantidad de caliza empleada en diferente espesor para determinar la eficiencia en la remoción de hierro total y sulfatos	<ul style="list-style-type: none"> • 100 kg • 200 kg 	kg	Balanza
Dependiente				
Remoción de hierro total	Es la eliminación del hierro contenido en el cuerpo de agua, por absorción de la Capa de caliza, sustrato y totora.	Concentración en relación al tiempo inicial y final	Porcentaje (%)	Espectrofotómetro
Remoción de plomo total	Es la eliminación de sulfatos contenido en el agua por la absorción de capa de caliza, sustrato y totoras.	Concentración en relación al tiempo inicial final	Porcentaje (%)	Espectrofotómetro

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III: MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación.

El tipo de investigación de acuerdo a la finalidad, es aplicada. De acuerdo a la técnica de contrastación, es experimental y según la temporalidad transversal.

La investigación aplicada plantea resolver problemas o intervenir en la historia natural de la enfermedad. Enmarca a la innovación técnica, artesanal e industrial como la científica. Las técnicas estadísticas apuntan a evaluar el éxito de la intervención en cuando a: proceso, resultados e impacto. Para ello debemos identificar los indicadores apropiados. (Supo, 2012, p.5)

Si el problema surge directamente de la práctica social y genera resultados que pueden aplicarse (son aplicables y tienen aplicación en el ámbito donde se realizan) la investigación se considera aplicada. Es obvio, que la aplicación no tiene forzosamente que ser directa en la producción o en los servicios, pero sus resultados se consideran de utilidad para aplicaciones prácticas. En el ámbito de la medicina clínica, las investigaciones aplicadas pueden contribuir a generar recomendaciones sobre normas de tratamiento, de métodos para diagnóstico o de medidas de prevención secundaria. (Jiménez, 1998, p.14)

3.2. Diseño de investigación.

La metodología adoptada en esta investigación es de condición experimental – hipotético – deductiva.

3.2.1. Experimental

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).

Por lo general se plantea en los términos de la relación que existe entre dos o más variables (independiente y dependiente) y debe poder ser observada y probada en la realidad (Salinas, 2010)

El investigador actúa de manera consciente para conocer y determinar los efectos producidos por sí mismo con la finalidad de probar la hipótesis planteada.

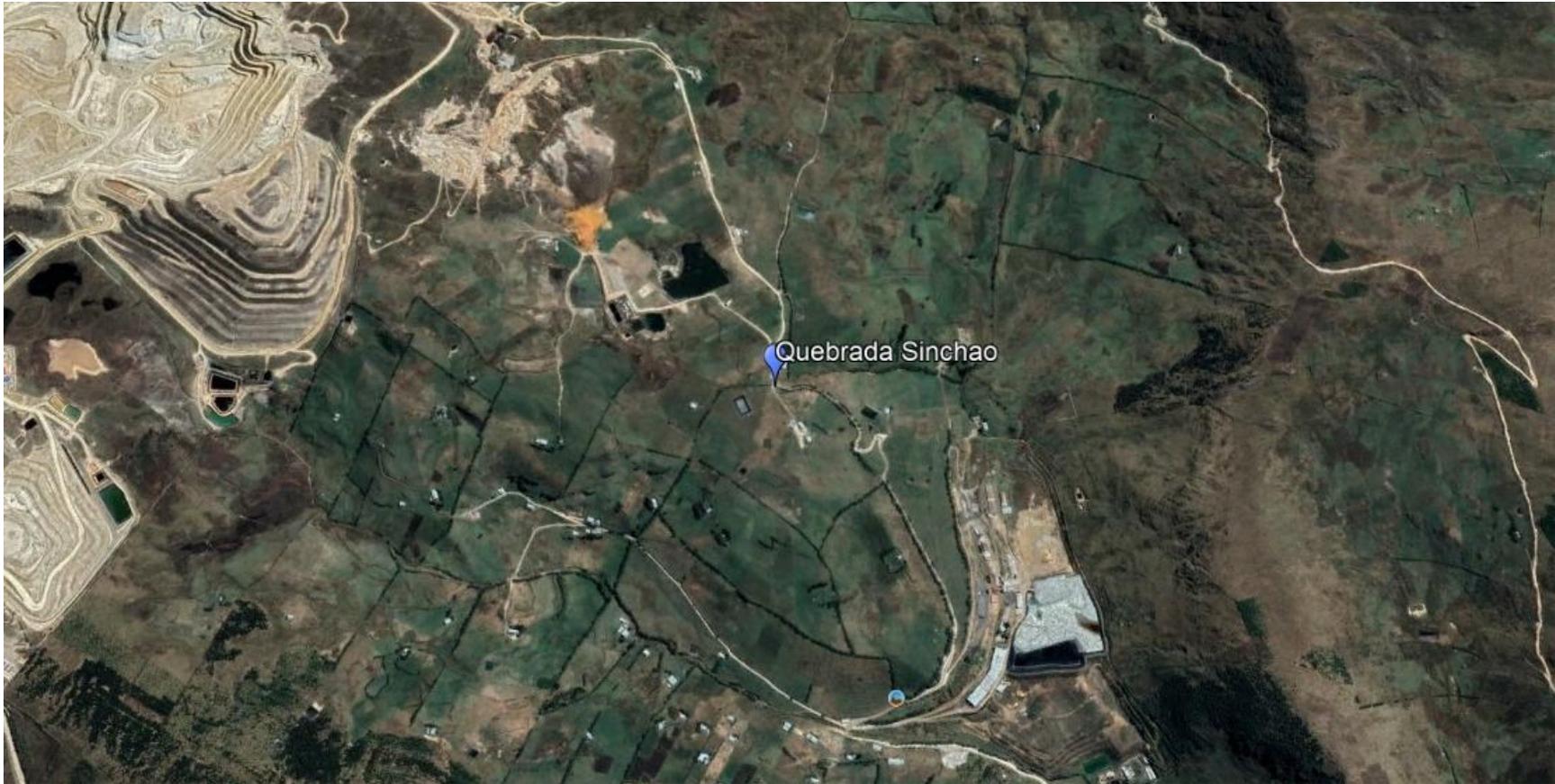
3.2.2. Hipotético – deductivo

Dada la naturaleza de la investigación, donde se planteó una hipótesis que se puede analizar deductiva o inductivamente con el propósito de comprobarla experimentalmente, sin que la parte teórica pierda su sentido, se ha considerado necesario hacer uso del método hipotético - deductivo cuyo principio es el establecimiento de una relación entre la teoría y la realidad.

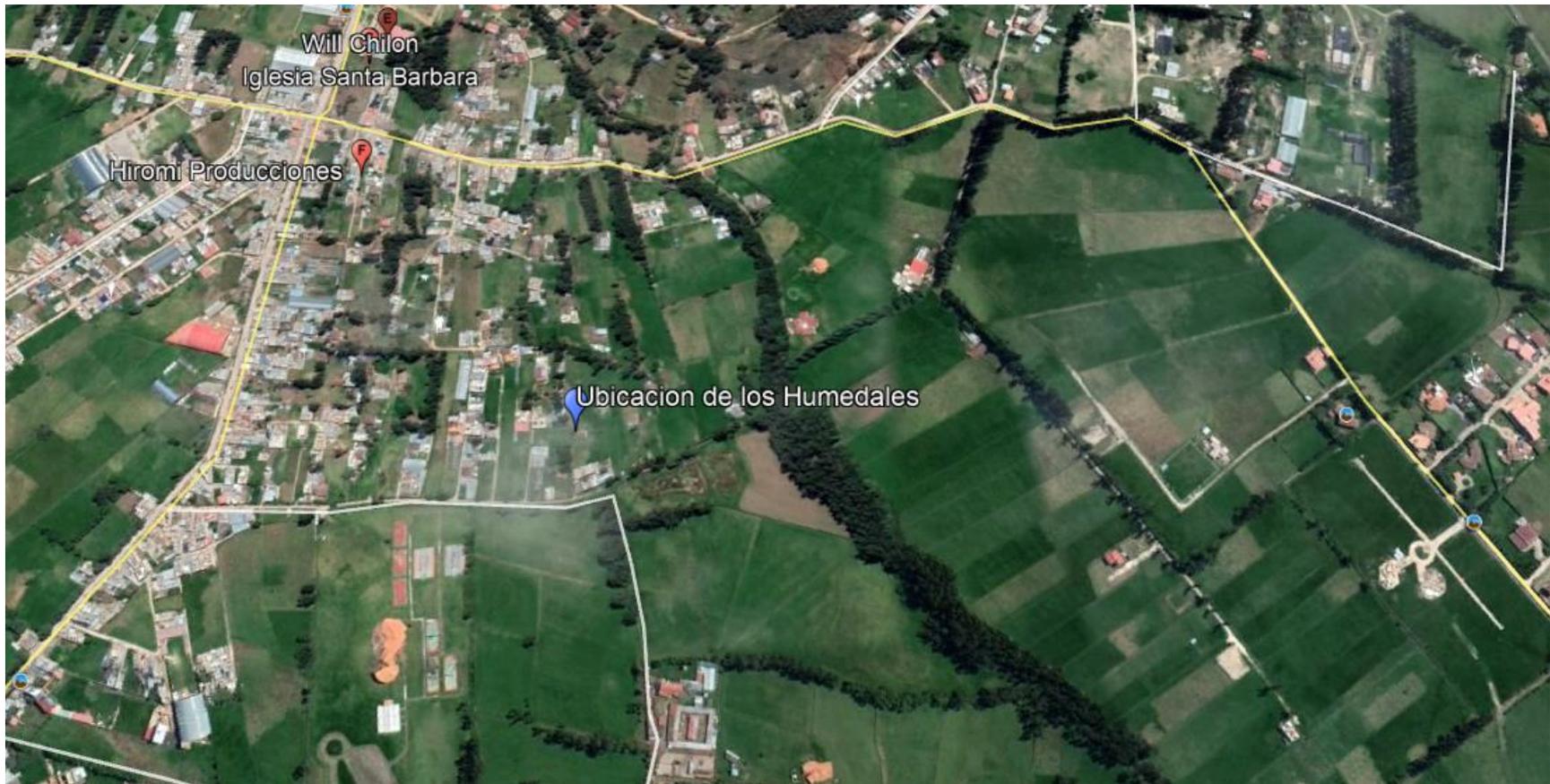
3.3. Área de investigación.

El estudio se ejecutó en dos partes en la quebrada del Sincaho, se tomó una muestra del agua ácida que drena, se encuentra ubicado en la Comunidad campesina el Tingo Distrito de Hualgayoc el otro estudio se tomó 6 muestras en relación al tiempo de los humedales construidos donde se encuentra ubicado en el centro poblado de Santa Bárbara, Distrito de Baños del Inca, departamento de Cajamarca.

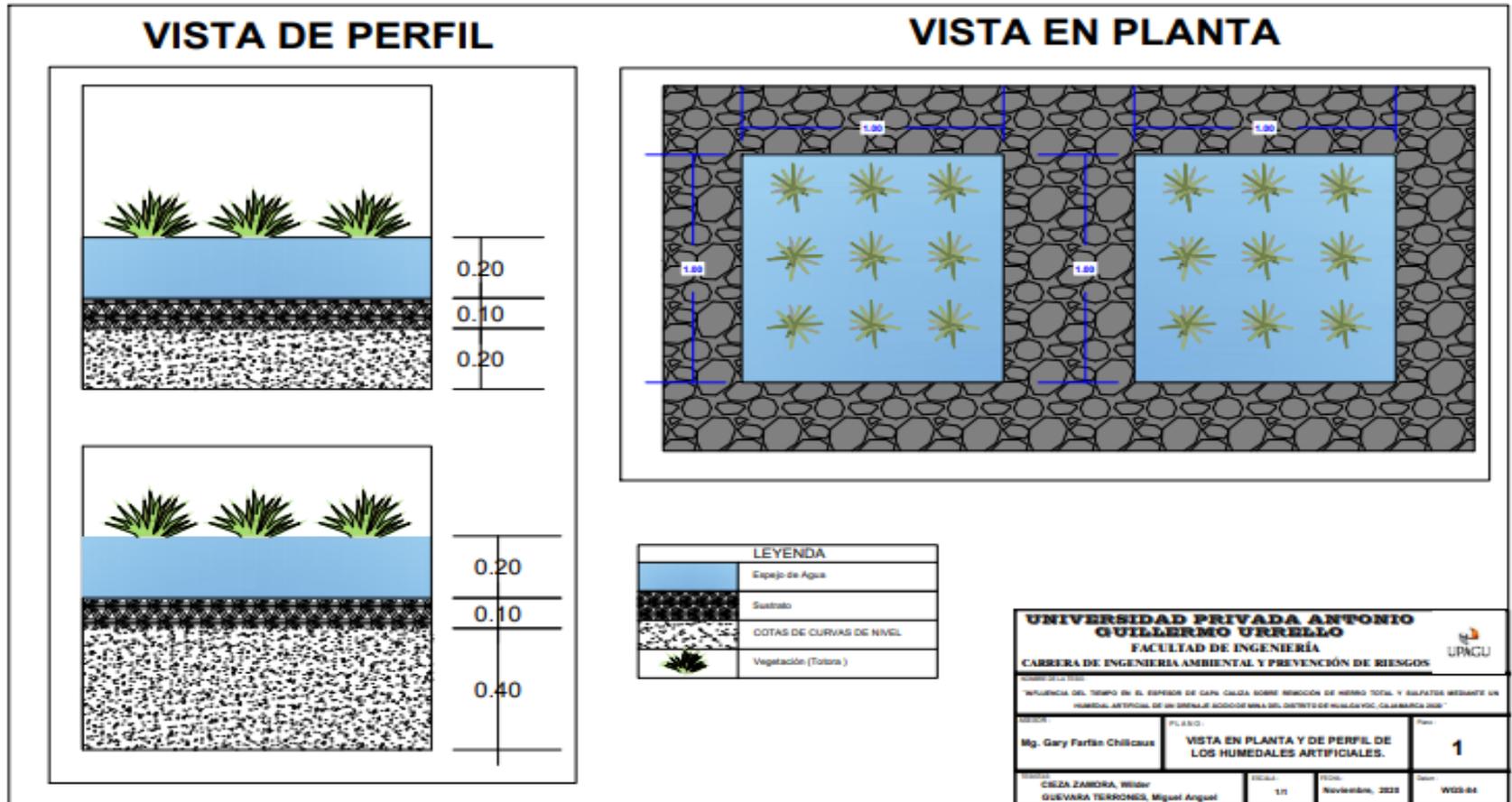
Mapa 1: Ubicación de la quebrada sinchao, Provincia de Hualgayoc.



Mapa 2: Ubicación de los humedales artificiales, Provincia de Baños del Inca, Departamento de Cajamarca.



Mapa 3: Diseño de los Humedales



3.4. Población

Agua ácida de la quebrada el Sinchao- Hualgayoc.

3.5. Muestra.

- 500 litros de agua ácida para el primer humedal.
- 700 litros de agua ácida para el segundo humedal.
- 200 kg de cal viva para el primer humedal.
- 400 kg de cal viva para el segundo humedal.
- g de sustrato orgánico para ambos humedales.

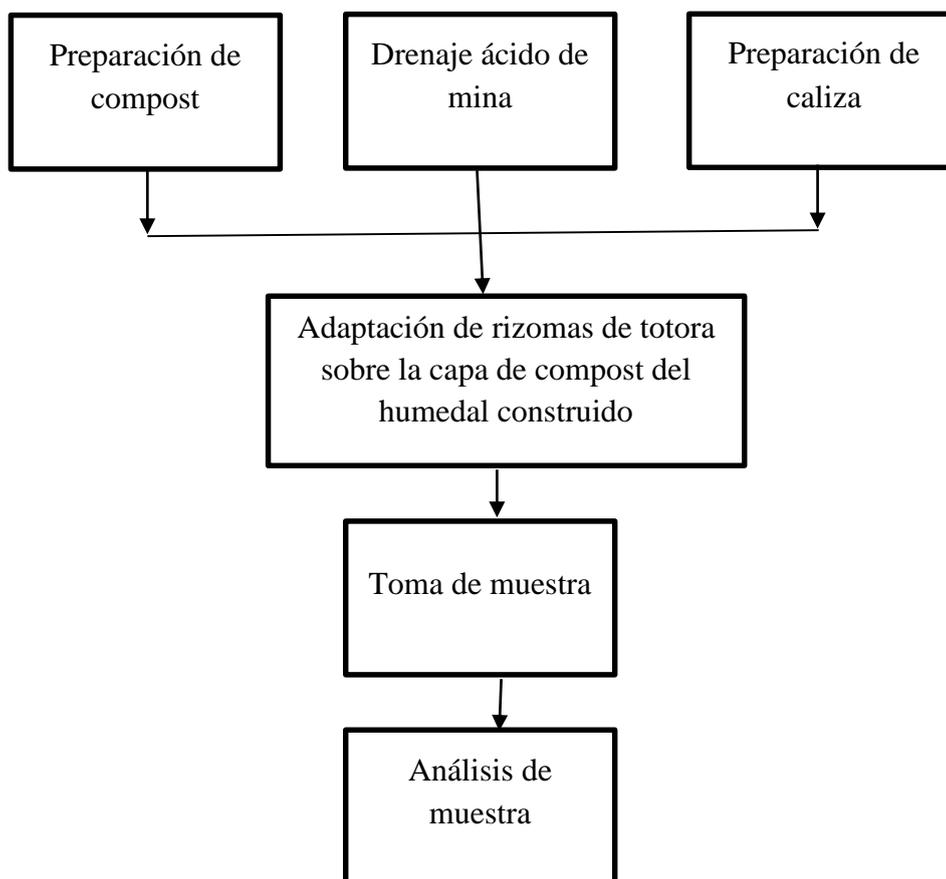
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

a. Construcción de un humedal anaerobio tipo Batch.

1. Se realizaron las excavaciones con las medidas de 1 metro de largo y 1 metro de ancho y 1 metro de profundidad para los siguientes tratamientos.
2. Se colocó a una medida de 20 cm y 40 cm de cada humedal a diferentes medidas el óxido de calcio.
3. Se colocó a una medida de 10 cm el sustrato elaborado a partir del estiércol de vaca pre descompuesto y musgo en una proporción de 20 a 80% para el humedal artificial 1 y en una proporción de 80 a 20% en el humedal artificial.
4. Las plantas fueron adaptadas en 1 mes.
5. Se trasladó el agua ácida desde la provincia de hualgayoc para ser tratada en los humedales.
6. Se tomaron las muestras en frascos brindados por el laboratorio y que fue analizado en el laboratorio regional del agua.

7. Determinar si los resultados obtenidos de los humedales cumplen con la normatividad vigente del LMP.

Figura 2: Punto de desfogue de agua de las piscinas



Fuente: Elaboración propia

3.7. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.

Para el análisis de datos se encontró el porcentaje de adsorción mediante la concentración inicial y final para luego ser sometido a un análisis de varianza con un nivel de significancia de 95% con un margen de error de +/- 5, los datos fueron analizados mediante la prueba de Fisher en el programa estadístico Minitab 19.

Para la comparación de las concentraciones hierro y sulfatos con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) fueron analizados Mediante la prueba de T- student con un nivel de significancia de 95% con un margen de error de +/- 5.

3.8. Interpretación de datos

Las técnicas de investigación que se utilizó fueron las siguientes:

- 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 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 (Minitab, 2019).

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados

4.1.1. Caracterización del drenaje ácido de mina - Quebrada el Sinchao Hualgayoc.

4.1.1.1. Toma de la muestra

Como parte de la investigación se realizó la caracterización del agua ácida de la quebrada el Sinchao – Hualgayoc, para ello el día sábado 24 de octubre del 2020 se realizó el monitoreo para los siguientes parámetros:

- Hierro (mg/L)
- Sulfatos (mg/L)

La recolección del agua fue obtenida de la quebrada el Sinchao-Hualgayoc, para la cual se tomó una muestra control, posteriormente se codifico la muestra indicando el lugar, fecha y hora de la muestra, asimismo para la recolección de la muestra se utilizó frascos brindados por el laboratorio, según lo establecido en el procedimiento de toma de muestras a la muestra de agua para metales pesados se agregó ácido nítrico para la respectiva conservación de la misma, finalmente se colocó en un cooler con refrigerante para la conservación y almacenaje al fin de mantener en una temperatura adecuada y luego ser trasladado al laboratorio.

a. Coordenadas del punto de muestreo**Tabla 4:** *Ubicación de la estación de muestreo*

PUNTOS	COORDENADAS UTM	
	Norte	Este
H1- Q. SINCHAO	92530 93	7595 20

Fuente: Elaboración propia

b. Diseño experimental de la toma de muestra**Punto 1: H1SINCHAO****Tabla 5:** *Diseño de la toma de muestra del punto 1 – Hualgayoc*

Punto	Volumen de muestra (L)	Hora y Fecha	Código de informe
H1SINCHAO	1 L	10 am 24/10/20	1020540A-01

Fuente: Elaboración propia

Muestra realizada para el análisis de Metales Totales (Hierro) y Sulfatos, el análisis se realizó en el Laboratorio Regional del Agua - Cajamarca, los resultados originales se adjuntan en anexos y el resumen de resultados se muestran más adelante.

4.1.1.2. Comparación de resultados de muestra inicial con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) Categoría 3.

Código de la muestra para el informe: 1020540A-01

Tabla 6: Evaluación de calidad de agua con los ECA – Categoría 3

COMPARACION DE RESULTADOS CON LOS ECAs - CATEGORIA 3			
Parámetro	Unidades	ECA categoría 3	RESULTADOS
			1020540A-01 24/10/20
Hierro	mg/L	5	313.4
Sulfatos	mg/L	1000	1422.6

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos y comparando con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) – Categoría 3 se encontró que tanto el parámetro del Hierro y los Sulfatos sobrepasan la calidad deseada, como se muestra en la tabla 6.

a. Hierro



Figura 3: Comparación del parámetro de Hierro

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la figura 3 se determinó que la concentración de Hierro del efluente ácido de mina de la quebrada Sinchao del distrito de Hualgayoc es demasiada alta y que por consecuencia sobrepasa los Estandares de Calidad Ambiental (ECA) – Categoría 3, ya que en el monitoreo realizado obtuvimos 314 mg/L y la concentración según los ECA – Categoría 3 es de 5 mg/l.

b. Sulfatos

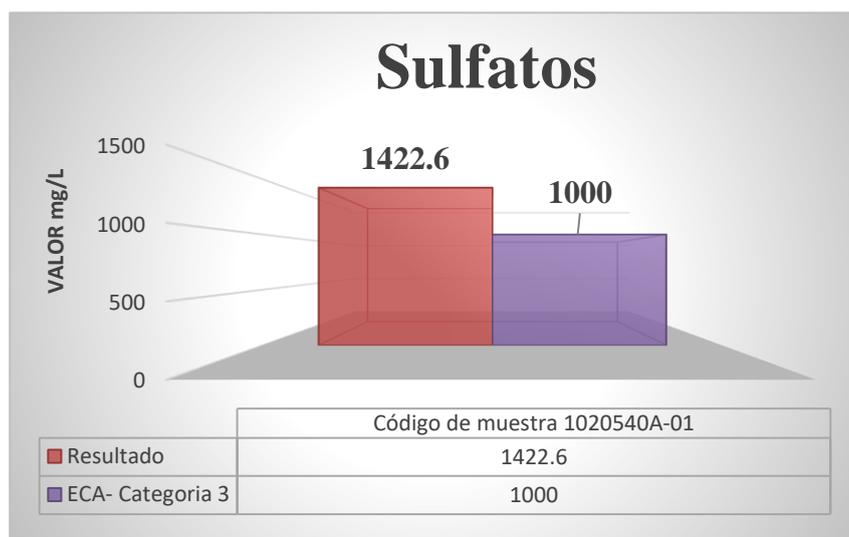


Figura 4: Comparación del parámetro de sulfatos

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la figura 4, que muestra los resultados del monitoreo realizado al parámetro de sulfatos se puede apreciar que la concentración de dicho parámetro sobrepasa el valor que estipula los estándares de calidad ambiental de aguas residuales categoría A3.

4.12 Diseño de los humedales artificiales.

Luego de una revisión exhaustiva de bibliografía sobre tratamiento de drenaje ácido de mina y de acuerdo con los resultados obtenidos de los parámetros analizados en el monitoreo para la caracterización del efluente ácido de mina de la quebrada Sinchao del distrito de Hualgayoc, se optó por la construcción de dos humedales artificiales con los siguientes componentes.

HUMEDAL ARTIFICIAL 1

20 cm	Nivel de agua
10 cm	Sustrato
20 cm	<i>Óxido de calcio</i>

Figura 5: Diseño de humedal 1

Fuente: Elaboración propia

HUMEDAL ARTIFICIAL 2

20 cm	Nivel de agua
10 cm	Sustrato
40 cm	<i>Óxido de calcio</i>

Figura 6: Diseño de humedal 2

Fuente: Elaboración propia

Los humedales construidos tienen la función principal de captar los metales pesados y disminuir el grado de contaminación, procesos que ocurren en los humedales naturales removiendo la carga contaminante que tienen los DAM de la vegetación que se implantó.

Ambos humedales artificiales tuvieron las siguientes medidas de 1 metro de largo, 1 metro de ancho y 1 metro de profundidad, asimismo las plantas se adaptadas en 1 mes, por consecuencia el diseño quedaría de la siguiente manera.

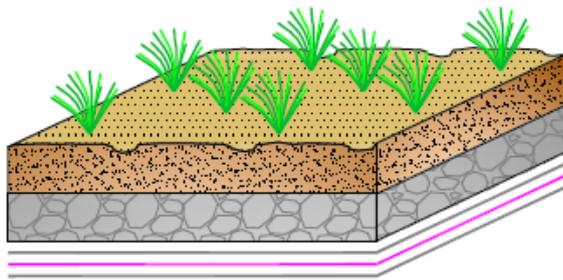


Figura 7: Vista de los humedales con las plantas utilizadas
Fuente: Elaboración propia

4.13. Diseño de toma de muestras del agua tratada en los Humedales Artificiales.

Una vez construido y puesto en funcionamiento el sistema de tratamiento por medio de Humedales se procedió a la recolección de muestras de agua tratada en los dos humedales empleados, la recolección se realizó de la siguiente manera.

Punto 2: H2SINCHAO

Tabla 7: Diseño de toma de muestras *del agua tratada en los humedales para los parámetros de Hierro y Sulfatos*

HIERRO y SULFATOS					
Humedal 1					
Punto	Tiempo de retención (h)	Volumen de muestra (L)	Hora de muestreo	Fecha de muestra	Código de informe
P2	12	1	6:00am	25/10/2020	1020540A-02
	24	1	6:00 pm	25/10/2020	1020540A-04
	36	1	6:00am	26/10/2020	1020540A-06
Humedal 2					
P2	12	1	6:00am	25/10/2020	1020540A-03
	24	1	6:00pm	25/10/2020	1020540A-05
	36	1	6:00pm	26/10/2020	1020540A-07

Fuente: Elaboración propia

4.14. Resultados obtenidos

4.1.4.1. Remoción De Hierro

Tabla 8: Resultados obtenidos del agua tratada para el parámetro de Hierro

RESULTADOS DE REMOCIÓN DE HIERRO				
Humedal 1				
Código de informe	Tiempo de retención (h)	Unidad	ECA categoría 3	RESULTADOS
1020540A-01	0	mg/L	5	313.4
1020540A-02	12	mg/L	5	1.036
1020540A-04	24	mg/L	5	0.653
1020540A-06	36	mg/L	5	0.126
Humedal 2				
1020540A-01	0	mg/L	5	313.4
1020540A-03	12	mg/L	5	1.971
1020540A-05	24	mg/L	5	0.146
1020540A-07	36	mg/L	5	0.083

Fuente: Elaboración propia

a. Análisis estadístico respecto a la Remoción de Hierro

- **ANOVA de un solo factor: REMOCIÓN DE HIERRO vs
TIEMPO DE RETENCIÓN**

Tabla 9: *Hipótesis estadística de ANOVA para Remoción de Hierro vs Tiempo de Retención - Agua Tratada*

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: *Análisis de varianza para Remoción de Hierro vs Tiempo de Retención - Agua Tratada*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo de retención	3	146703	48901.0	345247.69	0.000
Error	4	1	0.1		
Total	7	146704			

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la tabla 9 y 10, si existe diferencia significativa entre las medias debido a que el valor de $p=0.000$ es menor a $\alpha=0.05$.

Tabla 11: *Medias para resultados de Remoción de Hierro vs Tiempo de Retención - Agua Tratada*

Tiempo de Retención (h)	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0	2	313.4	0.0	(312.7; 314.1)
12	2	1.504	0.661	(0.765; 2.242)
24	2	0.400	0.359	(-0.339; 1.138)
36	2	0.1045	0.0304	(-0.6344; 0.8434)

Desv. Est. agrupada = 0.376351

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la tabla 11, nos muestra que las medias del tiempo de retención de los dos humedales van disminuyendo de acuerdo al tiempo de contacto, asimismo la media más baja se encuentra a 36 horas de tiempo de retención, es decir, a más tiempo de retención más bajo la concentración de hierro.

Tabla 12: *Comparaciones en parejas de Tukey para Remoción de Hierro vs Tiempo de Retención - Agua Tratada*

Tiempo de Retención (h)	N	Media	Agrupación
0	2	313.4	A
12	2	1.504	B
24	2	0.400	B
36	2	0.104	
		5	B

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la tabla 12, la comparación en parejas de Tukey para la Remoción de Hierro vs Tiempo de Retención, indica que la media para la muestra inicial (0) es significativamente diferente respecto al resto de resultados, debido a las diferentes agrupaciones representadas por A y B.

Tabla 13: *Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias para Remoción de Hierro vs Tiempo de Retención - Agua Tratada*

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
12 - 0	-311.897	0.376	(-313.429; -310.364)	-828.74	0.000
24 - 0	-313.000	0.376	(-314.533; -311.468)	-831.67	0.000
36 - 0	-313.296	0.376	(-314.828; -311.763)	-832.45	0.000
24 - 12	-1.104	0.376	(-2.637; 0.429)	-2.93	0.132
36 - 12	-1.399	0.376	(-2.932; 0.134)	-3.72	0.067
36 - 24	-0.295	0.376	(-1.828; 1.238)	-0.78	0.859

Nivel de confianza individual = 98.48%

Fuente: Elaboración propia

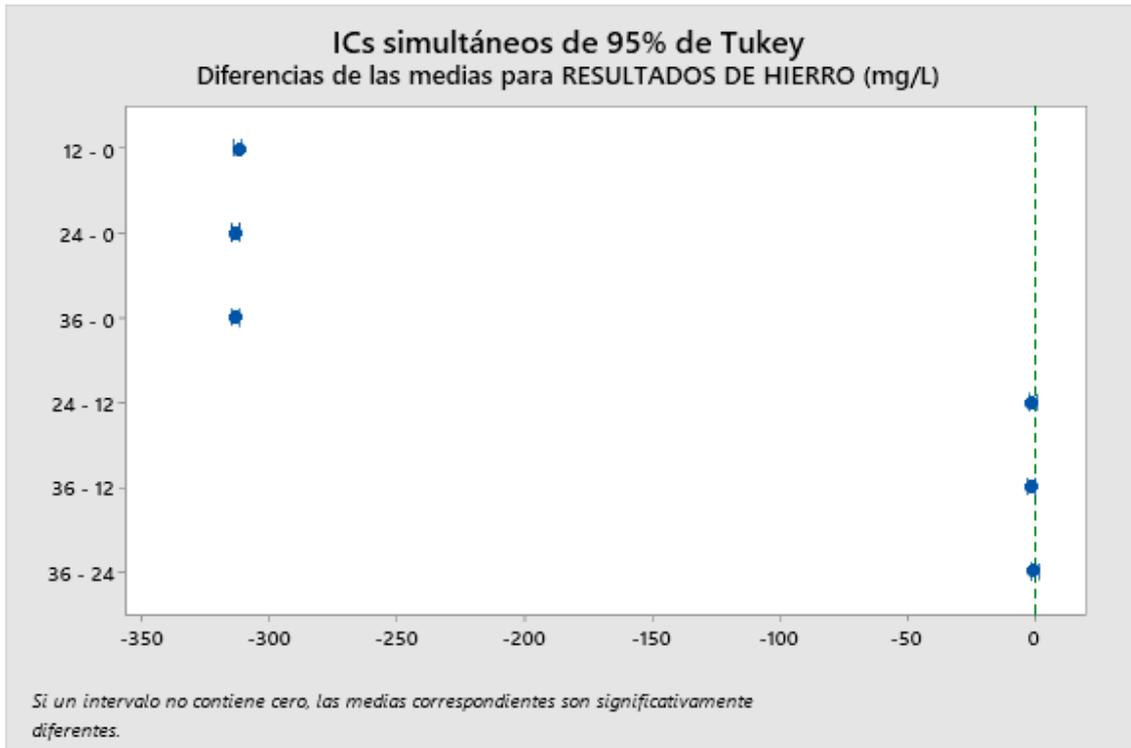


Figura 8: Gráfica de comparaciones en parejas de Tukey para Remoción de Hierro vs Tiempo de Retención - Agua Tratada

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la tabla 13 y la figura 8:

- Los intervalos de confianza para la diferencia entre las medias de: 12 y 0, 24 y 0, 36 y 0; estos rangos no incluyen el cero, lo que indica que la diferencia es estadísticamente significativa entre pares. Los intervalos de confianza de los demás pares de medias incluyen el cero, por lo tanto, se considera que las diferencias no son estadísticamente significativas.

- El nivel de confianza simultáneo de 95% indica que se está 95% seguro de que todos los intervalos de confianza contienen las diferencias reales.
- La tabla indica que el nivel de confianza individual es 98.48%, lo que indica que existe un 98.48% de seguridad y de que cada intervalo individual contiene la diferencia real entre un par específico de medias de grupo.

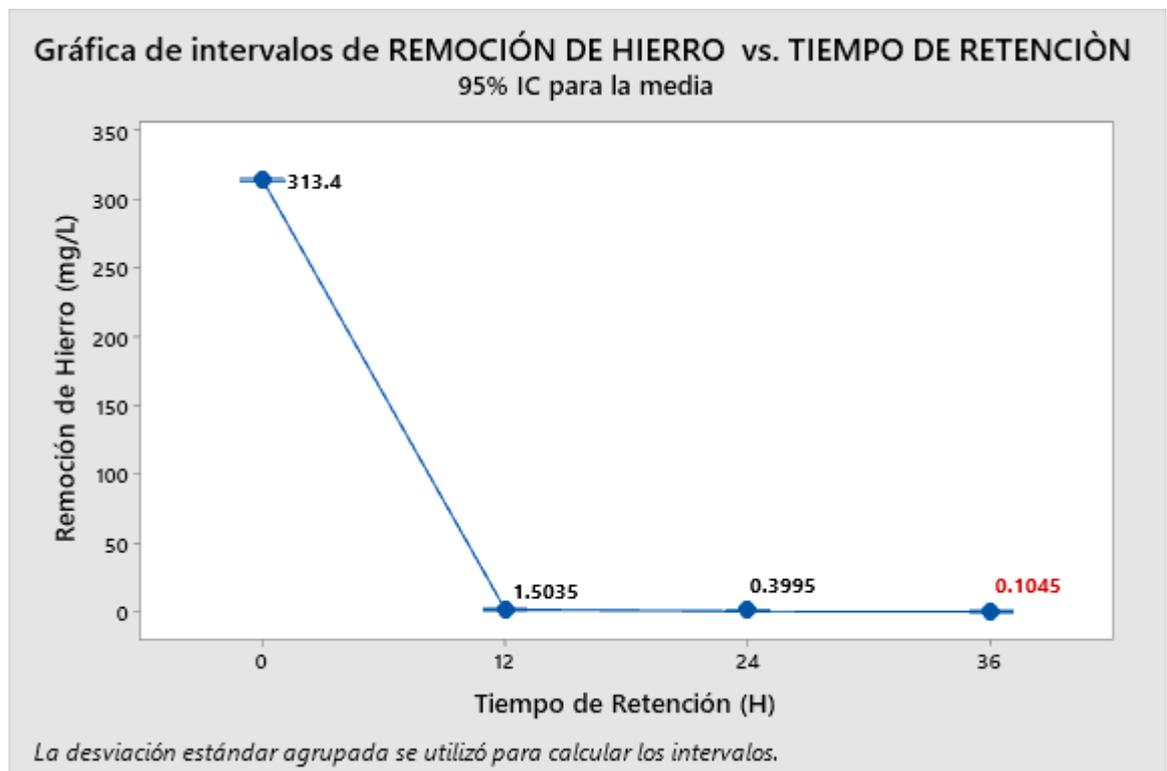


Figura 9: Gráfica de intervalos para Remoción de Hierro vs Tiempo de Retención - Agua Tratada

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la figura 9, gráfica de intervalos para Remoción de Hierro vs Tiempo de Retención - Agua Tratada, la media más baja es de 36 horas de tiempo de retención, por ende, tiene el

mayor porcentaje de disminución de concentración de Hierro; según dicha figura se puede observar que la concentración de hierro ha bajado de 313.4 mg/L a 0.1045 mg/L lo cual nos conlleva a afirmar que ambos humedales son eficientes para este tipo de agua ya que los resultados están por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental – Categoría 3.

- **ANOVA de un solo factor: REMOCIÓN DE HIERRO vs HUMEDAL**

Tabla 14: *Hipótesis estadística de ANOVA para Remoción de Hierro vs Humedal*

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: *Análisis de varianza para Remoción de Hierro vs Humedal*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Humedal	2	28.159	14.0794	25.91	0.002
Error	5	2.717	0.5434		
Total	7	30.876			

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la tabla 14 y 15, si existe diferencia significativa entre las medias debido a que el valor de $p=0.002$ es menor a $\alpha=0.05$.

Tabla 16: *Medias para resultados de Remoción de Hierro vs Humedal*

Humedal	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
ECAs - Categoría 3	2	5.000	0.000	(3.660; 6.340)
HUMEDAL 1	3	0.605	0.457	(-0.489; 1.699)
HUMEDAL 2	3	0.733	1.072	(-0.361; 1.827)

Desv.Est. agrupada = 0.737186

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la tabla 16, nos muestra la comparación de las medias de la remoción de hierro en los dos humedales con los ECAs, según los resultados obtenidos se puede observar que ambos humedales son eficientes debido a que la remoción de hierro ha sido muy buena ya que se logró bajar por debajo del rango de los ECAs, asimismo también se afirma que el “Humedal 1” ligeramente es el que ha tenido los mejores resultados es decir que la capa de óxido de calcio puede ser de 20 cm nada más, por lo que no es necesario colocar una capa de 40 cm como se hizo en el “Humedal 2”.

Tabla 17: *Comparaciones en parejas de Tukey para Remoción de Hierro vs Humedal*

Humedal	N	Media	Agrupación
ECAs - Categoría 3	2	5.000	A
HUMEDAL 2	3	0.733	B
HUMEDAL 1	3	0.605	B

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la tabla 17, la comparación en parejas de Tukey para la Remoción de Hierro vs Humedal, indica que no existe diferencia significativa entre las medias del Humedal 1 y el Humedal 2, debido a que, tenemos una sola agrupación representada por B, por lo que para un futuro tratamiento se puede considerar cualquiera de los dos diseños de los humedales.

Tabla 18: *Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias para Remoción de Hierro vs Humedal*

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
HUMEDAL 1 - ECAs – Categ 3	-4.395	0.673	(-6.584; -2.206)	-6.53	0.003
HUMEDAL 2 - ECAs – Categ 3	-4.267	0.673	(-6.456; -2.078)	-6.34	0.003
HUMEDAL 2 - HUMEDAL 1	0.128	0.602	(-1.829; 2.086)	0.21	0.975

Nivel de confianza individual = 97.74%

Fuente: Elaboración propia

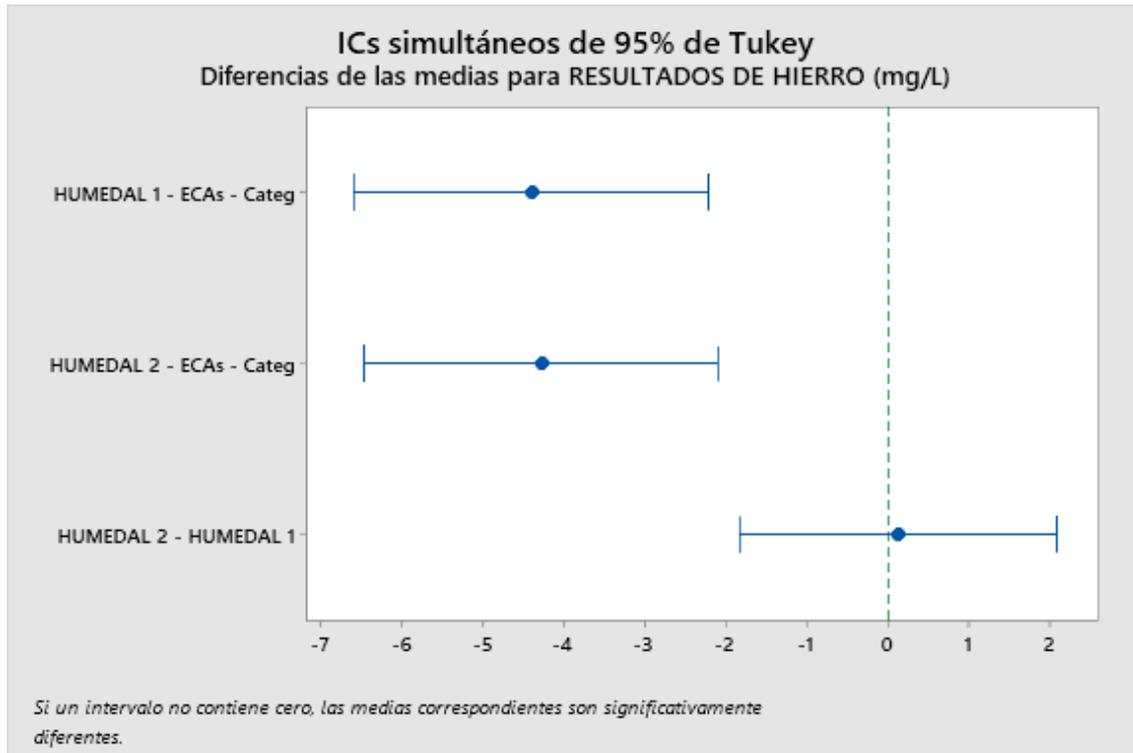


Figura 10: Gráfica de comparaciones en parejas de Tukey para Remoción de Hierro vs Humedal

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la tabla 18 y la figura 10:

- Los intervalos de confianza para la diferencia entre los ECAs y los dos humedales, los rangos no incluyen el cero, lo que indica que la diferencia es estadísticamente significativa entre pares para la comparación entre los ECAs y los 2 humedales. Mientras que la comparación entre los intervalos de confianza de ambos humedales, los pares de medias incluyen el cero, por lo tanto, se considera que la diferencia entre los resultados de la

remoción de ambos humedales no es estadísticamente significativa.

- El nivel de confianza simultáneo de 95% indica que se está 95% seguro de que todos los intervalos de confianza contienen las diferencias reales.
- La tabla indica que el nivel de confianza individual es 97.74%, lo que indica que existe un 97.74% de seguridad y de que cada intervalo individual contiene la diferencia real entre un par específico de medias de grupo.

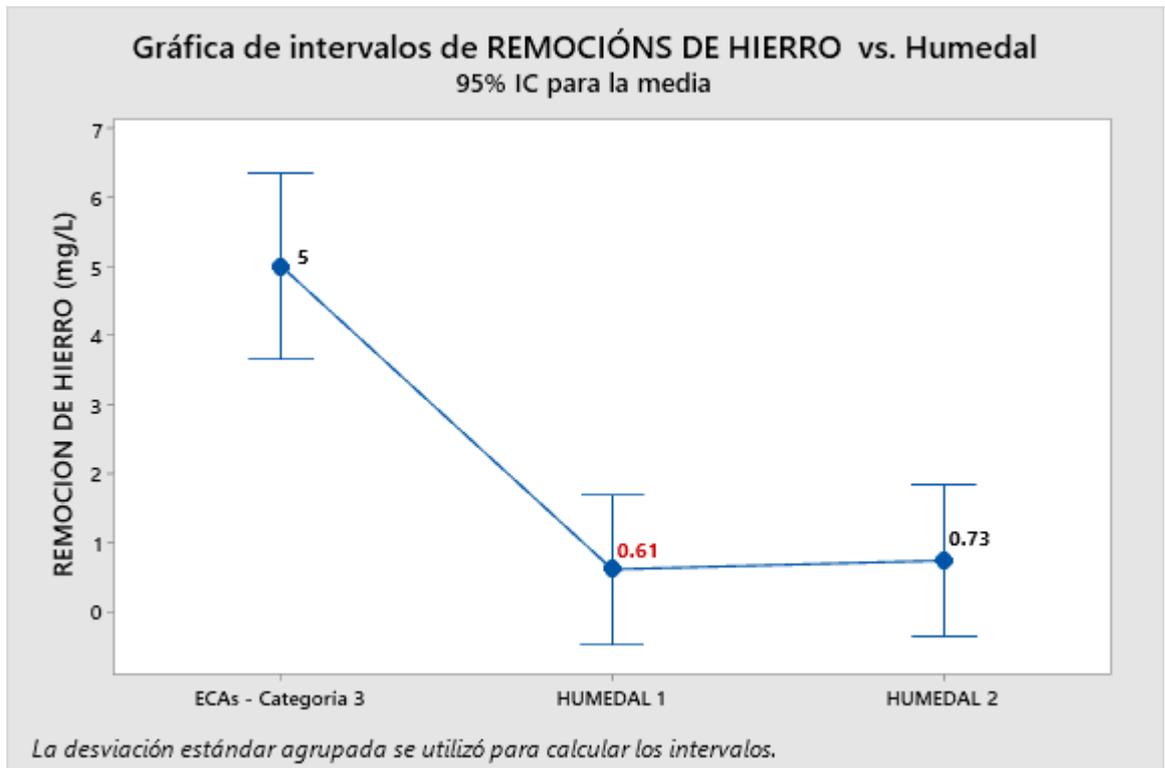


Figura 11: Gráfica de intervalos para Remoción de Hierro vs Humedal
Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la figura 11, gráfica de intervalos para Remoción de Hierro vs Humedal, la media más baja se encuentra en los resultados del humedal 1, por ende, tiene ligeramente el mayor porcentaje de disminución de concentración de Hierro; según dicha figura se puede observar que la concentración de hierro en el humedal 1 ha bajado de 313.4 mg/L a 0.61 mg/L, mientras que en el humedal 2 ha bajado de 313.4 mg/L a 0.73 mg/L, lo cual nos conlleva a afirmar que ambos humedales son eficientes para este tipo de agua ya que los resultados están por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental – Categoría 3 (5 mg/L).

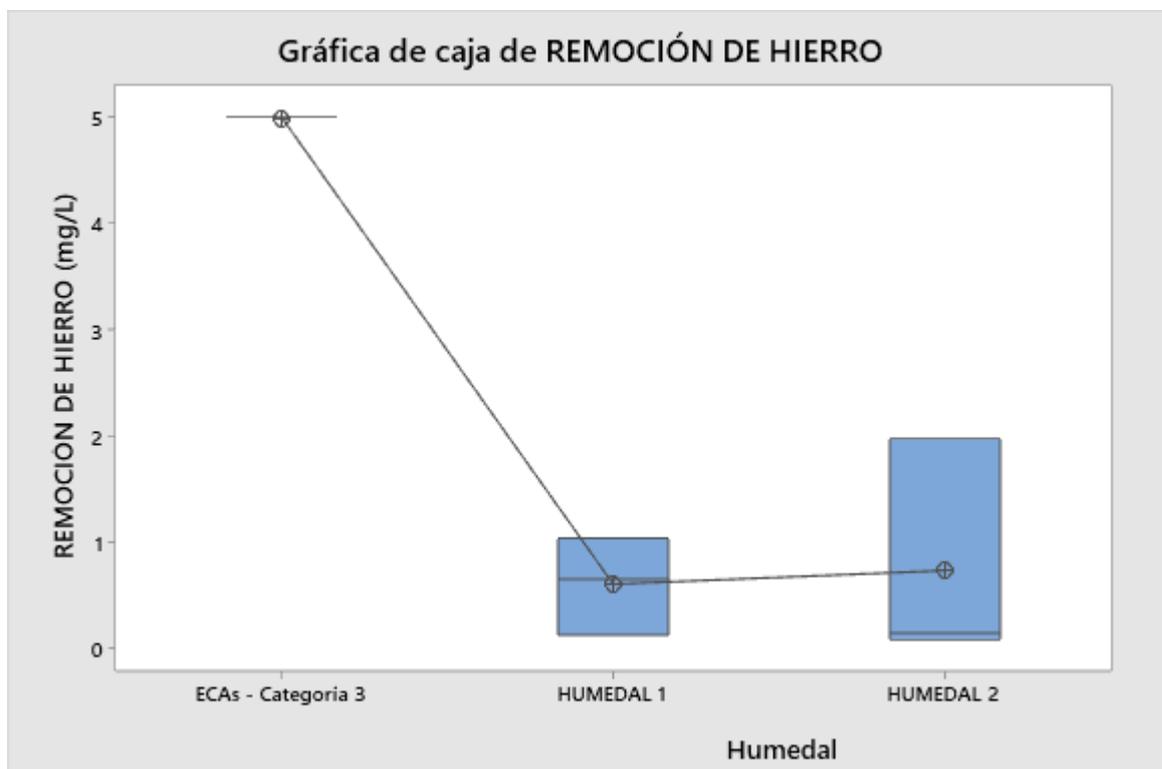


Figura 12: Gráfica de cajas para para Remoción de Hierro vs Humedal

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la figura 11, gráfica de cajas, las medias de disminución de las concentraciones de hierro, tienen una ligera diferencia siendo el más eficiente el humedal 1.

b. Discusión de resultados para la Remoción de Hierro

La remoción de Hierro del drenaje ácido de la quebrada el Sinchao – Hualgayoc, a sido muy eficiente tal cual nos muestra la estadística aplicada a esta investigación, los dos humedales puestos a prueba tuvieron grandes resultados ya que se logró bajar la concentración de hierro de 313.4 mg/L a 0.61 mg/L, los cuales se encuentran ampliamente por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental – Categoría 3 (5 mg/L), por lo que los procesos de la descomposición del del hierro se realizan tal cual nos explica; Daniel Barretina, en su libro “Acidificación de suelos y aguas: problemas y soluciones, 2005, p. 112”. En este proceso se produce el paso de hierro (Fe) a hierro férrico (Fe_2O_3) y su precipitación como hidróxido férrico, con una generación de acidez, que hace bajar algo el pH.

Estos humedales son muy efectivos con aguas alcalinas. Con pH alrededor de 6.5 se producen estas reacciones realmente rápidas, disminuyendo la velocidad según desciende el pH,

considerándose mínimas a partir de 3.5, por lo que el drenaje ácido a tratar debería de ser neutralizada antes de entrar en el wetland. Para calcular las dimensiones, hay que tener en cuenta criterios diferentes y en muchos casos acumulativos del hierro y manganeso. Se pueden considerar (Watzlaf, 1995).

Hay que tener en cuenta que la eliminación de hierro y maganeso es secuencial (como se ha demostrado en nuestros análisis), de tal manera que el manganeso no comienza a descender hasta que la concentración de hierro es muy baja, por lo que el tamaño requerido del humedal debe de ser la suma de ambas superficies.

4.1.4.2. Remoción de Sulfatos

Tabla 19: *Resultados obtenidos del agua tratada para el parámetro de Sulfatos*

RESULTADOS DE REMOCIÓN DE SULFATOS				
Código de informe	Tiempo de retención (h)	Humedal 1		
		Unidad	ECA categoría 3	RESULTADOS
1020540A-01	0	mg/L	1000	1422.6
1020540A-02	12	mg/L	1000	1115.3
1020540A-04	24	mg/L	1000	1625
1020540A-06	36	mg/L	1000	1024.9
Humedal 2				
1020540A-01	0	mg/L	1000	1422.6
1020540A-03	12	mg/L	1000	1022
1020540A-05	24	mg/L	1000	1032.3
1020540A-07	36	mg/L	1000	1035.8

Fuente: Elaboración propia

a. Análisis estadístico respecto a la Remoción de Sulfatos

- ANOVA de un solo factor: REMOCIÓN DE SULFATOS vs
TIEMPO DE RETENCIÓN

Tabla 20: *Hipótesis estadística de ANOVA para Remoción de Sulfatos vs Tiempo de Retención - Agua Tratada*

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21: *Análisis de varianza para Remoción de Sulfatos vs Tiempo de Retención - Agua Tratada*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tiempo de retención	3	223009	74336	1.65	0.313
Error	4	180058	45015		
Total	7	403067			

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la tabla 20 y 21, no existe diferencia significativa entre las medias debido a que el valor de $p = 0.313$ es mayor a $\alpha = 0.05$.

Tabla 22: *Medias para resultados de Remoción de Sulfatos vs Tiempo de Retención - Agua Tratada*

Tiempo de Retención (h)	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
0	2	1423	0	(1006; 1839)
12	2	1068.7	66.0	(652.1; 1485.2)
24	2	1329	419	(912; 1745)
36	2	1030.35	7.71	(613.82; 1446.88)

Desv.Est. agrupada = 212.167

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la tabla 22, nos muestra que las medias del tiempo de retención de los dos humedales a las 12 horas de tiempo de contacto a disminuido la concentración de sulfatos respecto a la muestra inicial, sin embargo en ambos humedales a las 24 horas se percibe que la concentración de sulfatos ha subido respecto a las 12 horas, por otro lado a las 36 horas de tiempo de contacto o tiempo de retención la concentración de sulfatos ha disminuido ligeramente respecto a los resultados de las 12 horas, sin embargo ninguno de los resultados de los dos humedales a cumplido con los ECAs – Categoría 3 debido a que las medias se encuentran por encima de 1000 mg/L, valor establecido en los Estándares.

Tabla 23: *Comparaciones en parejas de Tukey para Remoción de Sulfatos vs Tiempo de Retención - Agua Tratada*

Tiempo de Retención (h)	N	Media	Agrupación
0	2	1423	A
12	2	1329	A
24	2	1068.7	A
36	2	1030.35	A

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la tabla 23, comparación en parejas de Tukey para la Remoción de Sulfatos vs Tiempo de Retención - Agua Tratada, indica que no existe diferencia significativa entre las medias debido a que tenemos una sola agrupación representada por A.

Tabla 24: *Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias para Remoción de Sulfatos vs Tiempo de Retención - Agua Tratada*

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
12 - 0	-354	212	(-1218; 510)	-1.67	0.441
24 - 0	-94	212	(-958; 770)	-0.44	0.968
36 - 0	-392	212	(-1256; 472)	-1.85	0.372
24 - 12	260	212	(-604; 1124)	1.23	0.645
36 - 12	-38	212	(-902; 826)	-0.18	0.998
36 - 24	-298	212	(-1162; 566)	-1.41	0.557

Nivel de confianza individual = 98.48%

Fuente: Elaboración propia

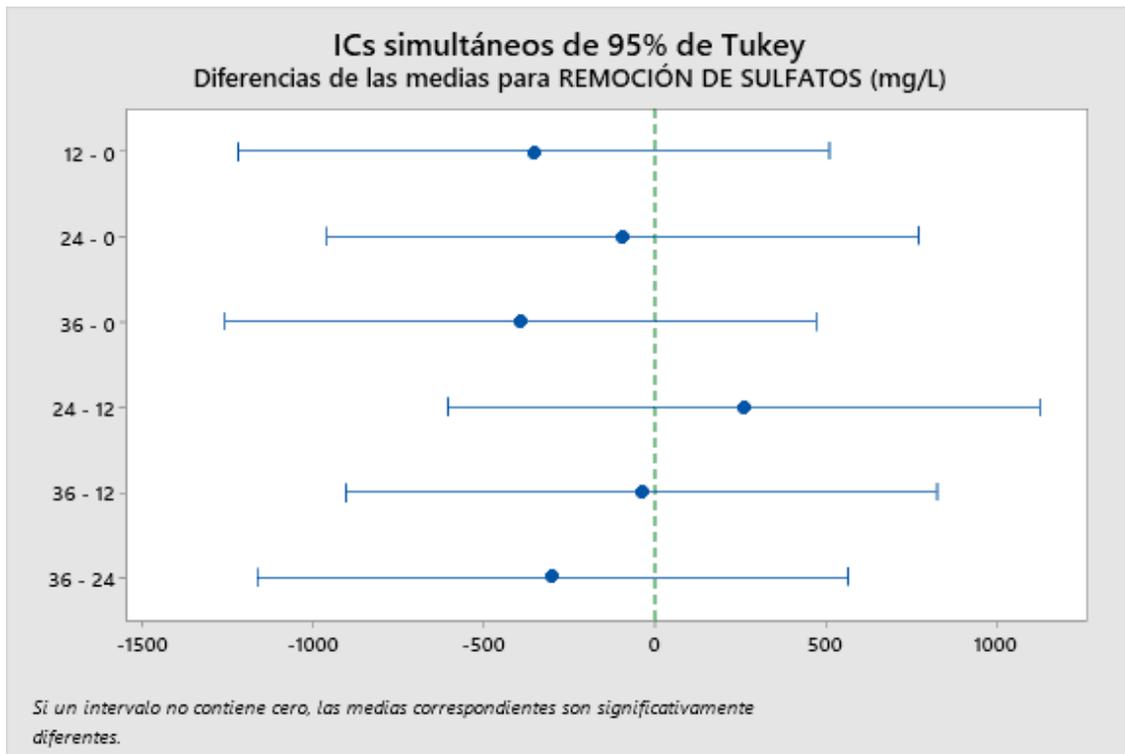


Figura 13: Gráfica de comparaciones en parejas de Tukey para Remoción de Sulfatos vs Tiempo de Retención - Agua Tratada

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la tabla 24 y la figura 13:

- Todos los intervalos de confianza incluyen el cero, lo que indica que la diferencia estadísticamente no es significativa entre estos pares.
- El nivel de confianza simultáneo de 95% indica que se está 95% seguro de que todos los intervalos de confianza contienen las diferencias reales.

- La tabla indica que el nivel de confianza individual es 98.48%, lo que indica que existe un 98.48% de seguridad y de que cada intervalo individual contiene la diferencia real entre un par específico de medias de grupo.

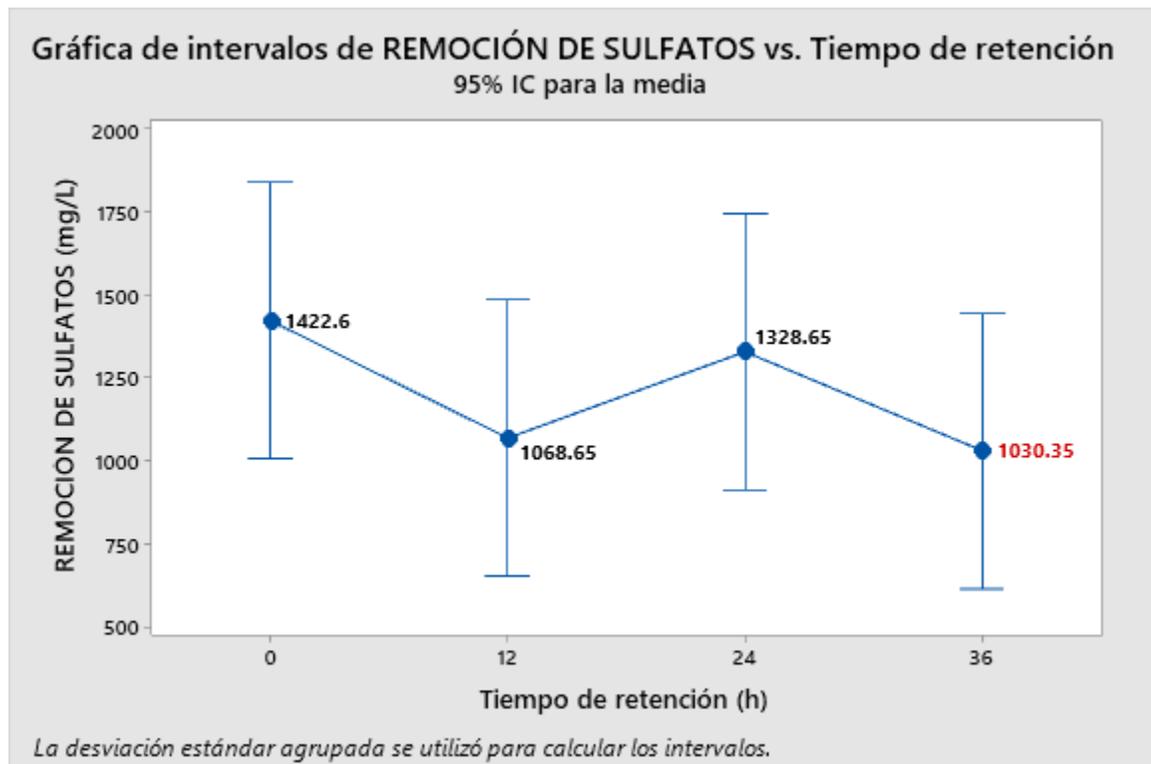


Figura 14: Gráfica de intervalos para Remoción de Sulfatos vs Tiempo de Retención - Agua Tratada

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la figura 14, gráfica de intervalos para Remoción de Sulfatos vs Tiempo de Retención - Agua Tratada, la media más baja es a las 36 horas de tiempo de retención, por ende, tiene el mayor

porcentaje de disminución de concentración de Sulfatos; según dicha figura se puede observar que la concentración de Sulfatos ha bajado de 1423 mg/L a 1030.35 mg/L lo cual nos conlleva a afirmar que en ambos humedales se ha reducido la concentración de Sulfatos sin embargo no cumple con los Estándares de Calidad Ambiental – Categoría 3, por ende se propone probar los mismos sistemas 48 y 72 horas como tiempo de contacto.

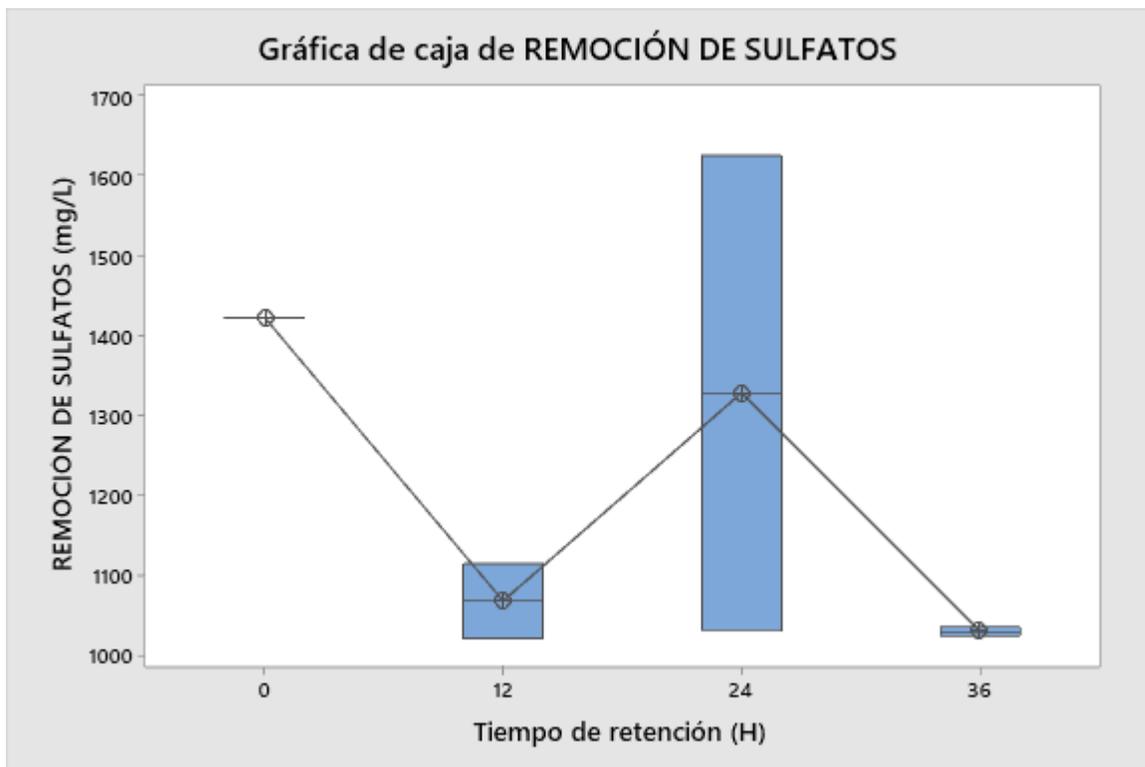


Figura 15: Gráfica de cajas para Remoción de Sulfatos vs Tiempo de Retención - Agua Tratada

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la figura 15, gráfica de cajas, las medias más bajas de disminución de las concentraciones de Sulfatos se encuentran a 12 y 36 horas.

- ANOVA de un solo factor: REMOCIÓN DE SULFATO vs HUMEDAL

Tabla 25: Hipótesis estadística de ANOVA para Remoción de Sulfato vs Humedal

Hipótesis nula	Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna	No todas las medias son iguales
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26: Análisis de varianza para Remoción de Sulfato vs Humedal

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Humedal	3	172345	57448	1.10	0.447
Error	4	209465	52366		
Total	7	381810			

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la tabla 25 y 26, no existe diferencia significativa entre las medias de los dos humedales debido a que el valor de $p=0.447$ es mayor a $\alpha=0.05$.

Tabla 27: *Medias para resultados de Remoción de Sulfato vs Humedal*

Humedal	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
ECAs - Categoría 3	1	1000	*	(365; 1635)
H1	3	1255	324	(888; 1622)
H2	3	1030.03	7.17	(663.21; 1396.85)
Muestra Inicial	1	1423	*	(787; 2058)

Desv.Est. agrupada = 228.837

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la tabla 27, nos muestra la comparación de las medias de la remoción de hierro en los dos humedales con los ECAs – Categoría 3, según los resultados obtenidos se puede observar que ambos humedales disminuyen la concentración de sulfato así mismo esto no alcanza para lograr bajar por debajo del rango de los ECAs, por otro lado se afirma que el “Humedal 2” es el que a tenido mejores resultados es decir que la capa de óxido de calcio tiene que ser de mayor o igual a 40 cm de alto.

Tabla 28: *Comparaciones en parejas de Tukey para Remoción de Sulfato vs Humedal*

Humedal	N	Media	Agrupación
Muestra Inicial	1	1423	A
H1	3	1255	A
H2	3	1030.03	A
ECAs - Categoría 3	1	1000	A

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la tabla 28, la comparación en parejas de Tukey para la Remoción de Sulfatos vs Humedal, indica que no existe diferencia significativa entre las medias del Humedal 1 y el Humedal 2, debido a que, tenemos una sola agrupación representada por A, por lo que para un futuro tratamiento se puede considerar cualquiera de los dos diseños de los humedales, extendiendo el tiempo de retención.

Tabla 29: Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias para Remoción de Sulfatos vs Humedal

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
H1 - ECAs – Categ 3	255	264	(-821; 1331)	0.97	0.776
H2 - ECAs – Categ 3	30	264	(-1046; 1106)	0.11	0.999
Muestra Inic - ECAs – Categ 3	423	324	(-895; 1741)	1.31	0.605
H2 - H1	-225	187	(-986; 536)	-1.20	0.656
Muestra Inic - H1	168	264	(-909; 1244)	0.63	0.916
Muestra Inic - H2	393	264	(-684; 1469)	1.49	0.520

Nivel de confianza individual = 98.48%

Fuente: Elaboración propia

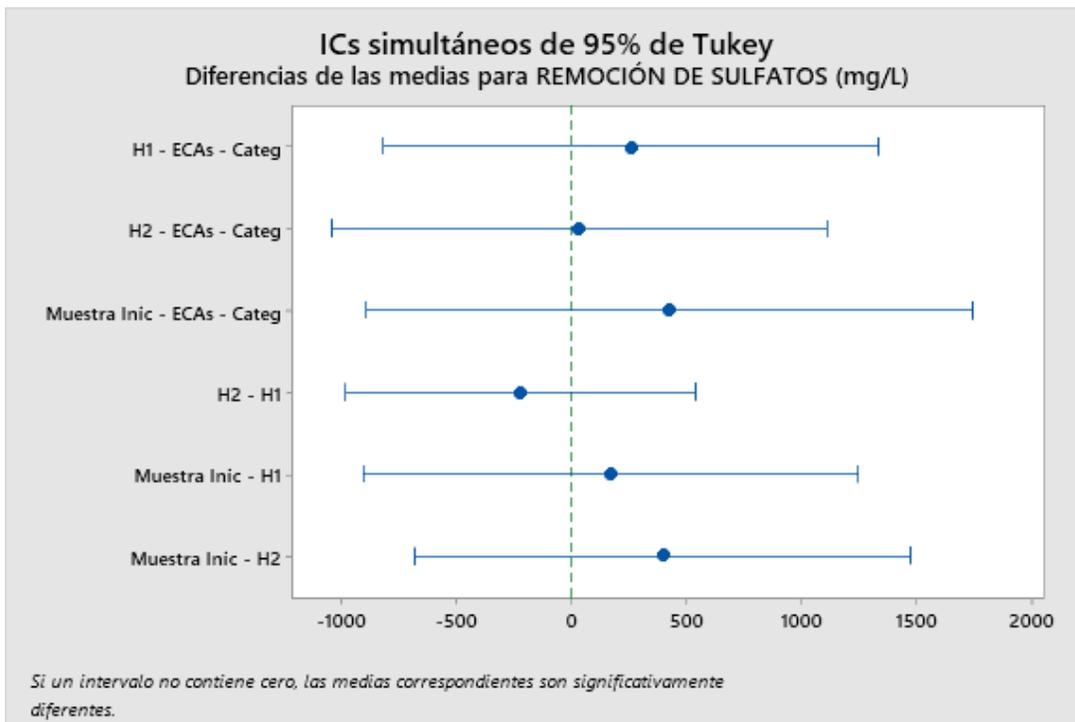


Figura 16: Gráfica de comparaciones en parejas de Tukey para Remoción de Sulfatos vs Humedal

Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la tabla 29 y la figura 16:

- Todos los intervalos de confianza incluyen el cero, lo que indica que la diferencia estadísticamente no es significativa entre estos pares.
- El nivel de confianza simultáneo de 95% indica que se está 95% seguro de que todos los intervalos de confianza contienen las diferencias reales.
- La tabla indica que el nivel de confianza individual es 98.48%, lo que indica que existe un 98.48% de seguridad y de que cada intervalo individual contiene la diferencia real entre un par específico de medias de grupo.

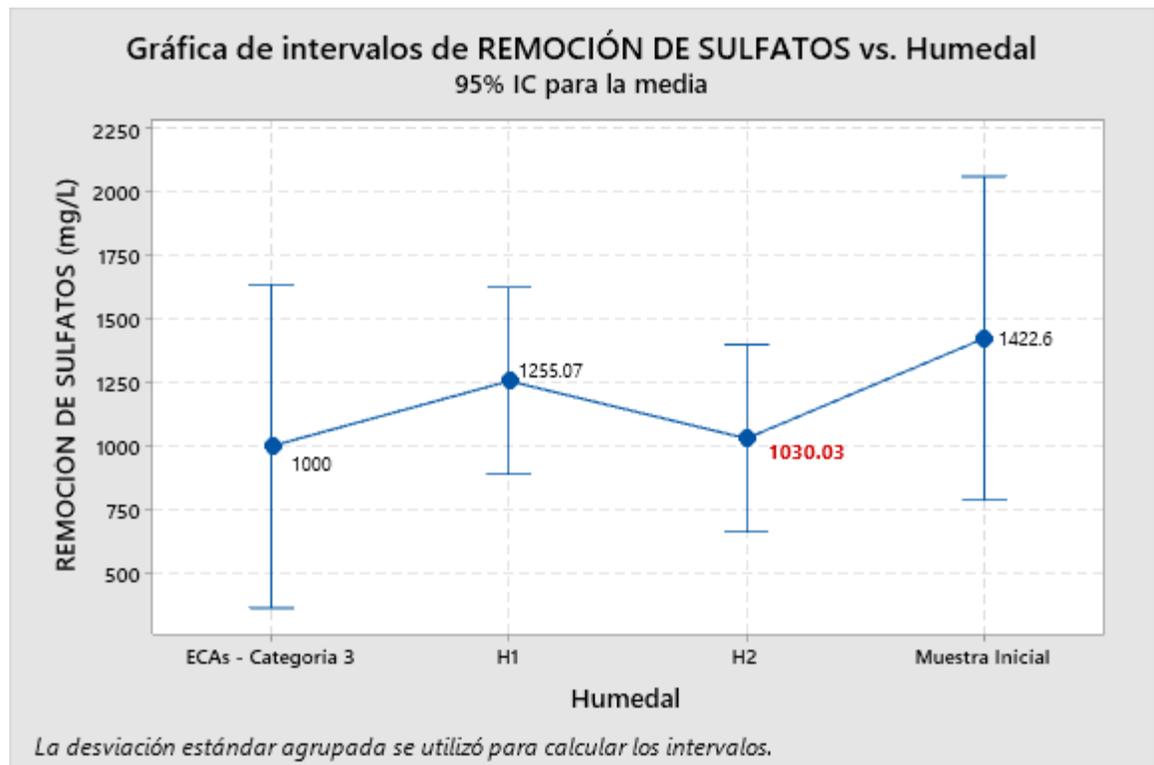


Figura 17: Gráfica de intervalos para Remoción de Sulfatos vs Humedal
Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la figura 17, gráfica de intervalos para Remoción de Sulfatos vs Humedal, la media más baja se encuentra en los resultados del humedal 2, por ende, tiene el mayor porcentaje de disminución de concentración de Sulfatos; según dicha figura se puede observar que la concentración de sulfatos en el humedal 1 ha bajado de 1423 mg/L a 1255 mg/L, mientras que en el humedal 2 ha bajado de 1423 mg/L a 1030.03 mg/L, lo cual nos conlleva a afirmar que ambos humedales reducen la concentración de sulfatos sin embargo no se logró bajar por

debajo de los Estándares de Calidad Ambiental – Categoría 3 (1000mg/L).

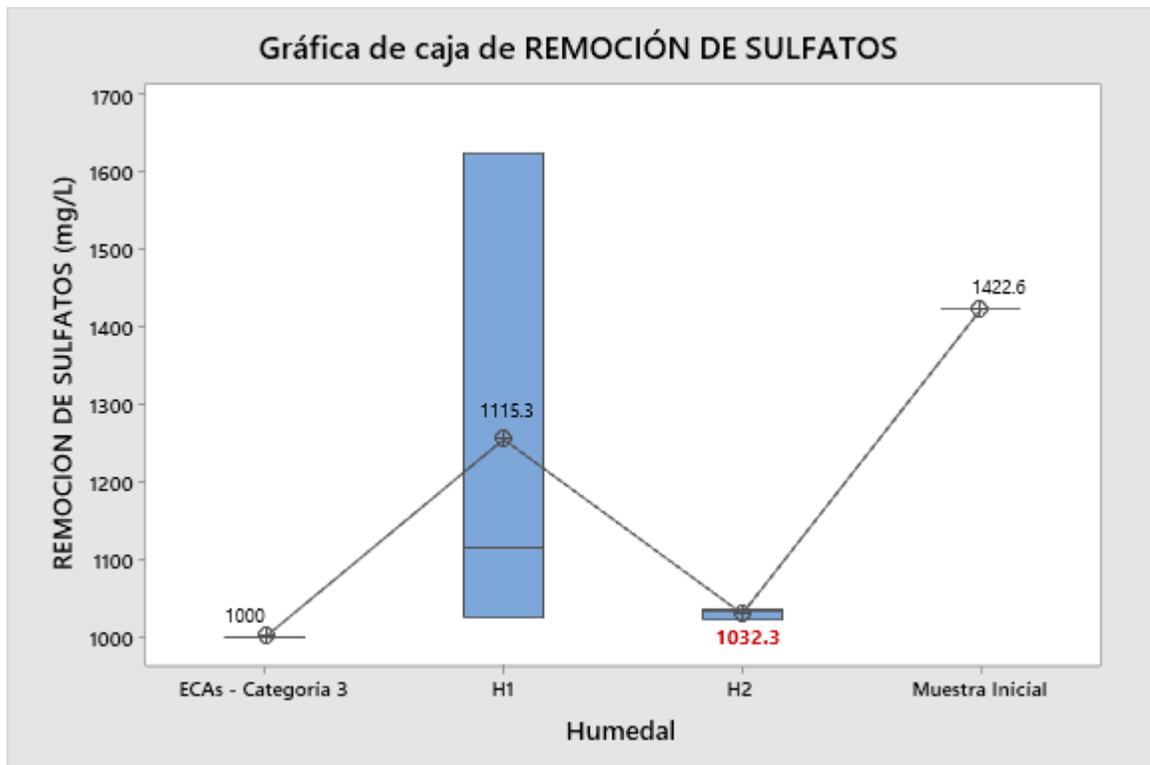


Figura 18: Gráfica de cajas para para Remoción de Sulfatos vs Humedal
Fuente: Elaboración propia

Interpretación

Según la figura 18, gráfica de cajas, las medias de disminución de las concentraciones de Sulfatos, tienen una ligera diferencia siendo el más eficiente el humedal 2.

b. Discusión de resultados para la Remoción de Sulfatos

Según los resultados obtenidos mediante la estadística aplicada para esta investigación, las figuras 17 y 18 muestran que los 2 humedales artificiales diseñados para el tratamiento de aguas ácidas, logran remover los sulfatos presentes en el drenaje ácido de la quebrada el Sinchao, tal cual nos menciona el Instituto Geológico y Minero de España en su “Manual de restauración de terrenos y evaluación de impactos ambientales en minería, 1989, p.347”. Donde se afirma que el proceso de reducción bacteriana de sulfatos en ambientes anóxico también se reduce la acidez mineral potencial debida al hierro y otros metales al precipitar como sulfuros.

Otra fuente de alcalinidad, también generada en el sustrato, es la disolución de la caliza al reaccionar con la acidez del efluente. En el diseño de humedales artificiales, desde el punto de vista química, se puede considerar una eliminación de la acidez por unidad de superficie y día (Hedin et al., 1994 & Watzlat, 1997).

Sin embargo, según las figuras anteriormente mencionadas muestran que la remoción de sulfatos no logra estar por debajo de los

Estándares de Calidad Ambiental – Categoría 3 (1000 mg/L), por lo que se propone probar a mayor tiempo de retención.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Experimentalmente y estadísticamente el tiempo de retención y la composición de óxido de calcio influye significativamente sobre la remoción de hierro, pero no para la remoción de sulfatos en el tratamiento de aguas ácidas de mina en humedales artificiales.
-
- Una vez obtenido los resultados del agua tratado en los dos humedales artificiales se puede afirmar que; el mejor tiempo de retención para la remoción tanto de hierro y sulfatos del drenaje ácido de mina es a 36 horas, asimismo, mientras el tiempo de contacto sea mayor la concentración de hierro y sulfatos es menor.
- Según la estadística realizada se determinó que el espesor de capa de óxido de calcio para una adecuada remoción de hierro es a 20 cm de alto, tal cual se muestra en los resultados del humedal 1 ya que tiene una ligera diferencia con el humedal 2, mientras que el espesor de capa de óxido de calcio para la remoción de sulfatos es a 40 cm de alto, debido a que los mejores resultados se obtuvieron en el humedal 2.
- Finalmente se realizó la comparación de los resultados de hierro y sulfatos del drenaje ácido tratado, con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) – Categoría 3, obteniendo que los humedales artificiales diseñados son muy eficientes para el parámetro de hierro

ya que se logra bajar la concentración por debajo de los ECAs, mientras que para el parámetro de sulfatos no son muy eficientes debido a que se logra reducir la concentración de dicho parámetro pero ligeramente aun sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental – Categoría 3.

5.2. RECOMENDACIONES

- Recomendamos que en un futuro el tratamiento por medio de humedales artificiales se plantee como alternativa de tratamiento para el drenaje ácido de mina del distrito de Hualgayoc, debido a que son muy eficientes para la remoción de hierro.
- Se recomienda probar a un mayor tiempo de retención para tener una mayor eficiencia en la remoción de sulfatos y así de esta manera cumplir con los Estándares de Calidad Ambiental - Categoría 3.
- Se recomienda a los investigadores emplear tiempos de 0 a 12 horas con la finalidad de reconocer el tiempo más óptimo dentro de este intervalo de tiempo, de tal manera generar menos costos y reducir el tiempo en el tratamiento para de aguas acidas de mina.
- Finalmente se recomienda, reajustar el tiempo de retención, espesor de capa de óxido de calcio, tipo de sustrato y tipo de plantas absorbentes, o en todo caso buscar otro tipo de tratamiento más eficiente para la remoción de sulfatos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

De Echave, J. (2019, 02, 08). Los pasivos mineros de Hualgayoc. *Hildebrandt en sus trece*.

Recuperado de <http://cooperacion.org.pe/los-pasivos-mineros-de-hualgayoc/>.

Aguilar Díaz, A., & Aguilar Díaz, H. (2017). Sistemas piloto de fitorremediación para el tratamiento de aguas ácidas de los pasivos ambientales mineros de la quebrada Mesa de Plata-Hualgayoc-2017.

Parada., F., Vergara., F., y Sánchez M. (2018). Evaluación técnica de la recuperación de Cobre desde aguas de drenaje de minas y disminución de su impacto ambiental en aguas de uso fluvial. *Revista de Medio Ambiente y Minería*, 6(1),18-23

Cadillo Nieto, E. M. (2018). Propuesta de mejoramiento de la calidad de las aguas ácidas que drenan del pasivo ambiental de la mina nuncia Mediante el uso de bacterias sulfato reductoras–ataquero–Carhuaz-Ancash.

Oré Vidalón, S. T. (2015). Recuperación de los metales pesados presentes en el drenaje ácido de mina mediante la precipitación selectiva para su posterior utilización.

- López Marcos, A. E. (2018). Administración estratégica para el tratamiento de aguas ácidas de mina mediante humedales artificiales en Nyrstar Coricancha SA.
- Grasa Evaristo, F. (2015). Determinación de Pb, Cd, As en aguas del río Santa en el Pasivo Minero Ambiental de Recuay, Ticapampa; Recuay-Anchash. Universidad Nacional Mayor de San Marcos
- Sotomayor, A. 2009. Tecnología de humedales en el tratamiento de aguas ácidas de mina. ES. IMAITEC. 4 p.
- Tchobanoglous, G. 1994. Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización. 3 ed. ES. s.e. 1423 p.
- (M. Martínez, D. Murcía & Y. Suarez, 2015)"Evaluación de un sistema de biorremediación de aguas residuales porcícolas en la finca el porvenir, vereda Suncunchoque, sector la laja, Ubate – Cundinamarca, y su reutilización con fines agroambientales", Pregrado, Corporación Universitaria Minuto de Dios, 2015.
- Moreno, A. (2017). Tratamiento de drenaje ácido de mina con el uso de zeolita natural a escala experimental (Tesis de Pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Gamonal, P. (2010). Tratamiento de drenaje ácido de mina en humedales construidos. PE. SEDAPAL.
- López Gutiérrez, H. (2011). Tratamiento anaeróbico de aguas ácidas de mina con travertino y compost a escala de laboratorio.
- Villaseñor, J. 2002. Procesos tecnológicos en el tratamiento de aguas (en línea). España. UCLM (cursos de postgrado). Consultado el 19 de ago. 2014. Disponible en: <http://www.uclm.es/profesorado/jvillasenor/esp/master.asp>

Farfán, G. 2012. Influencia del tiempo de retención del drenaje ácido de mina sobre la concentración de hierro total y sólidos suspendidos. Tesis. Mg Sc. Trujillo. PE. Universidad Nacional de Trujillo. 87p.

Colin, B., & Cann, M. (2014). Química Ambiental. Barcelona: 2ª ed.

Marín, J; Correa, J. 2010. Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la Guadua angustifolia Kunth. Tesis. Pereira. CO. Universidad Tecnológica de Pereira. 100 p. (en línea). Consultado el 06 de ene. del 2015. Disponible en

<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1801/1/6283M337.pdf>

Rojas Cuellar, L. F., Valdivia Gonzales, S. E., & Vilchez Rojas, C. R. (2017). Remoción de IONES sulfatos de agua de rechazo de una planta de osmosis inversa mediante precipitación química y micro filtración.

ANEXOS

ANEXO A

“Figuras y fotografías”

humedales artificiales



Fotografía N°01 humedales.



Fotografía N° 02 humedal 1 y humedal 2.



Foto N°: 03 Preparación del sustrato para la humedad 1.



Foto N°: 03 Preparación del sustrato para la humedad 2.



Foto N° 4 colocación de plástico para evitar filtraciones



Foto N° 05 colocación del óxido de calcio de 20 cm.



Foto N° 06. Colocación de la capa del óxido de calcio a 40 cm.



Foto N° 07 Colocación de la capa de sustrato para ambos humedales.



Foto N° 08 Capa de sustrato de 10 cm.



Foto N° 09 adopción de las plantas humedal 1.



Foto N° 10 adopción de las plantas humedal 2.



Foto N° 11 inundación de humedales.



Foto N° 12. Toma de muestras en la quebrada el Sinchao.



Foto N° 13. Toma de muestras en la quebrada el Sinchao.



Foto N° 14. Toma de muestras en los humedales.

ANEXO B

“Resultados de ensayos
realizados”



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 1020540A

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	WILDER CIEZA ZAMORA / GUEVARA TERRONES MIGUEL ÁNGEL		
Dirección	Cajamarca		
Persona de contacto	-	Correo electrónico	-

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	24, 25, y 26 de Octubre del 2020	Hora de Muestreo	De 6:00 a.m. a 6:00 p.m.
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	07		
Ensayos solicitados	Fisicoquimicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación		
Referencia de la Muestra:	Hualgayoc		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	SC-860	Cadena de Custodia	CC-540A-2020
Fecha y Hora de Recepción	27.10.2020	Inicio de Ensayo	22.10.20 14:30
Reporte Resultado	30.10.2020		



Edder Neyra Jarco
 Responsable de Laboratorio
 CIP: 147028

Cajamarca, 30 de Octubre de 2020.

Página: 1 de 5

INFORME DE ENSAYO N° IE 1020540A

ENSAYOS			QUIMICOS					
Génesis de la Muestra			01 (24/10/20-10:00 a.m.)	02-01 (25/10/20-08:00 a.m.)	03-02 (25/10/20-08:00 a.m.)	03-01 (25/10/20-08:00 a.m.)	03-02 (25/10/20-08:00 a.m.)	03-01 (26/10/20-08:00 a.m.)
Código Laboratorio			1020540A-01	1020540A-02	1020540A-03	1020540A-04	1020540A-05	1020540A-06
Matriz			NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL
Descripción			Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial
LOCALIZACIÓN DE LA MUESTRA			Cuadrada al Sinchao	Cuadrada al Sinchao	Cuadrada al Sinchao	Cuadrada al Sinchao	Cuadrada al Sinchao	Cuadrada al Sinchao
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales					
Plata (Ag)	mg/L	0.019	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Aluminio (Al)	mg/L	0.023	44.74	0.560	2.475	1.066	0.150	0.134
ARSENIO (As)	mg/L	0.000	3.420	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Boro (B)	mg/L	0.026	0.526	0.085	0.061	0.092	0.127	0.094
Bario (Ba)	mg/L	0.004	<LCM	0.006	0.012	0.007	0.012	0.008
Berilio (Be)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
BISMUTO (Bi)	mg/L	0.010	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Calcio (Ca)	mg/L	0.124	308.9	1164.0	1319.0	1156.0	1174.0	1180.0
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	0.171	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	0.058	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cromo (Cr)	mg/L	0.003	0.000	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Cobre (Cu)	mg/L	0.018	16.970	0.715	1.194	0.852	1.121	0.978
Hierro (Fe)	mg/L	0.023	313.4	1.036	1.971	0.653	0.146	0.126
Potasio (K)	mg/L	0.051	3.199	48.46	62.09	56.15	71.03	62.89
Litio (Li)	mg/L	0.005	0.049	0.051	0.088	0.053	0.086	0.054
Magnesio (Mg)	mg/L	0.019	21.35	0.693	6.438	0.148	0.205	0.029
Manganeso (Mn)	mg/L	0.003	29.71	0.223	0.370	0.066	0.028	0.029
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	<LCM	0.010	0.006	0.006	0.007	0.003
Sodio (Na)	mg/L	0.026	2.86	5.46	7.504	6.38	8.243	7.040
Niquel (Ni)	mg/L	0.005	0.108	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Fósforo (P)	mg/L	0.024	0.788	2.063	1.663	2.572	2.009	3.199
Plomo (Pb)	mg/L	0.004	0.119	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Azufre (S)	mg/L	0.031	304.7	260.1	246.6	259.0	240.5	257.6
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Selenio (Se)	mg/L	0.018	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Silicio (Si)	mg/L	0.104	9.078	1.024	5.96	1.593	0.77	0.602
Estroncio (Sr)	mg/L	0.003	0.819	1.194	2.556	1.304	2.534	1.507
Titanio (Ti)	mg/L	0.004	0.015	<LCM	0.055	<LCM	<LCM	<LCM
Talio (Tl)	mg/L	0.003	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Uranio (U)	mg/L	0.004	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Vanadio (V)	mg/L	0.004	0.038	<LCM	0.004	<LCM	<LCM	<LCM
Zinc (Zn)	mg/L	0.018	13.92	0.349	0.451	0.205	0.198	0.125
Cerio	mg/L	0.0040	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Mercurio (Hg)	mg/L	0.0002	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM

Cajamarca, 30 de Octubre de 2020.

Página 1 de 5

INFORME DE ENSAYO N° IE 1020540A

ENSAYOS			QUIMICOS					
Código de la Muestra	04-02 (29/10/20 08:00 a.m.)		-	-	-	-	-	
Código Laboratorio	1020540A-07		-	-	-	-	-	
Matriz	NATURAL		-	-	-	-	-	
Descripción	Superficial		-	-	-	-	-	
Localización de la Muestra	Quebrada el Sincayo		-	-	-	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales					
Plata (Ag)	mg/L	0.079	<LCM	-	-	-	-	
Aluminio (Al)	mg/L	0.023	0.142	-	-	-	-	
Arsénico (As)	mg/L	0.026	<LCM	-	-	-	-	
Boro (B)	mg/L	0.026	0.225	-	-	-	-	
Bario (Ba)	mg/L	0.004	0.014	-	-	-	-	
Berilio (Be)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	
Bismuto (Bi)	mg/L	0.016	<LCM	-	-	-	-	
Calcio (Ca)	mg/L	0.124	1218.0	-	-	-	-	
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	<LCM	-	-	-	-	
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	0.003	-	-	-	-	
Cromo (Cr)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	
Cobre (Cu)	mg/L	0.078	1.208	-	-	-	-	
Hierro (Fe)	mg/L	0.023	0.083	-	-	-	-	
Potasio (K)	mg/L	0.051	78.99	-	-	-	-	
Litio (Li)	mg/L	0.005	0.082	-	-	-	-	
Magnesio (Mg)	mg/L	0.019	0.157	-	-	-	-	
Manganeso (Mn)	mg/L	0.003	0.029	-	-	-	-	
Moibdeno (Mo)	mg/L	0.002	0.008	-	-	-	-	
Sodio (Na)	mg/L	0.026	8.961	-	-	-	-	
Niquel (Ni)	mg/L	0.005	0.008	-	-	-	-	
Fósforo (P)	mg/L	0.024	2.735	-	-	-	-	
Plomo (Pb)	mg/L	0.004	<LCM	-	-	-	-	
Azufre (S)	mg/L	0.091	237.9	-	-	-	-	
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	<LCM	-	-	-	-	
Selenio (Se)	mg/L	0.018	<LCM	-	-	-	-	
Silicio (Si)	mg/L	0.104	0.662	-	-	-	-	
Estroncio (Sr)	mg/L	0.003	2.825	-	-	-	-	
Titanio (Ti)	mg/L	0.004	<LCM	-	-	-	-	
Talio (Tl)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	
Uranio (U)	mg/L	0.004	<LCM	-	-	-	-	
Vanadio (V)	mg/L	0.004	<LCM	-	-	-	-	
Zinc (Zn)	mg/L	0.019	0.103	-	-	-	-	
Cerio	mg/L	0.0040	<LCM	-	-	-	-	
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	-	-	-	-	
Mercurio (Hg)	mg/L	0.0002	<LCM	-	-	-	-	



Cajamarca, 30 de Octubre de 2020.

Página: 3 de 5



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 1020540A

ENSAYOS			FISICOQUIMICOS					
Código de la Muestra			01 (24/10/20-10:00 a.m.)	02-01 (25/10/20-10:00 a.m.)	02-02 (25/10/20-10:00 a.m.)	03-01 (25/10/20-09:00 p.m.)	03-02 (25/10/20-09:00 p.m.)	04-01 (26/10/20-09:00 a.m.)
Código Laboratorio			1020540A-01	1020540A-02	1020540A-03	1020540A-04	1020540A-05	1020540A-06
Matriz			NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL	NATURAL
Descripción			Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial	Superficial
Localización de la Muestra			Quebrada el Sinchao	Quebrada el Sinchao	Quebrada el Sinchao	Quebrada el Sinchao	Quebrada el Sinchao	Quebrada el Sinchao
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.038	2.345	1.190	1.400	1.460	1.880	1.420
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.065	2.07	11.95	16.46	12.42	19.91	13.51
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.050	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.035	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.064	0.6	0.4	0.700	0.45	11.760	2.930
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.070	1422.6	1115.3	1022.0	1625.0	1032.3	1024.9
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.072	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM	<LCM

ENSAYOS			FISICOQUIMICOS					
Código de la Muestra			01 (26/10/20-09:00 a.m.)					
Código Laboratorio			1020540A-07					
Matriz			NATURAL					
Descripción			Superficial					
Localización de la Muestra			Quebrada el Sinchao					
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F ⁻)	mg/L	0.038	1.650	-	-	-	-	-
Cloruro (Cl ⁻)	mg/L	0.065	20.82	-	-	-	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.050	<LCM	-	-	-	-	-
Bromuro (Br ⁻)	mg/L	0.035	<LCM	-	-	-	-	-
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0.064	0.6	-	-	-	-	-
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	mg/L	0.070	1035.8	-	-	-	-	-
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	mg/L	0.072	<LCM	-	-	-	-	-

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



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 30 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



Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 1020540A

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Metales Disueltos y Totales por ICP/OES (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mn, Mg, Mo, Ni, P, Pb, S, Se, Si, Sr, Ti, Tl, U, V, Zn)	mg/L	EPA Method 200.7 Rev. 4.4, 1994. (Validado) 2014. Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Mercurio por AAS-CV	mg/L	EPA 243.1, Rev 3.0, 1994. (Validado) 2014. Determination of mercury in water by cold vapor atomic fluorescence spectrometry
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Sulfuro, Sulfato, Nitrato, Fosfato, N-NO ₂ , N-NO ₃ , P-PO ₄ , N-NO ₂ +N-NO ₃)	mg/L	EPA Method 305.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.

NOTAS FINALES

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

(†) Los Resultados son referenciales, no cumplen sus requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realizan los ensayos se conservan en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un periodo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo, luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser un símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso de este símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.



Código del Formato: P-23-F01 Rev. 02 Fecha: 09/03/2020

"Fin del documento"

Cajamarca, 30 de Octubre de 2020.

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Página: 5 de 5

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA. ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PRESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
 JR. TILIS ALBERTO SANCHEZ S/N. Urb. EL BÚFALO, CAJAMARCA - PERÚ
 e-mail: laboratorio@lra.gob.pe Telf: 0833 333333