

## **Efecto de la concentración del manganeso y el tiempo de aireación en la remoción de sulfuros del efluente en la etapa de pelambre del proceso de curtido**

Effect of manganese concentration and aeration time in the removal of sulfides from the effluent in the furling stage of the tanning process

Shirley Bernabé Saavedra<sup>1</sup> | Dr. Alberto Álvarez Quezada<sup>2</sup>

### **RESUMEN:**

Los efluentes generados en la etapa de pelambre presentan la mayor carga contaminante del efluente total de proceso de curtido con la presencia de sulfuros, materia orgánica esto se debe a la inclusión de aditivo como (sulfuro de sodio (Na<sub>2</sub>S) y cal apagada (Ca(OH)<sub>2</sub>)) característica de esta etapa. Por ello en el presente estudio se empleó el método de óxido-aireación mediante el uso de manganeso en forma de MnO<sub>2</sub> (IV) y MnCl<sub>2</sub>; con la finalidad de demostrar el efecto de la concentración del manganeso en 0,5; 1 y 1,5% y el tiempo de aireación de 4 y 8 horas con un flujo de aireación de 0.2 l/min en la remoción de sulfuros del efluente en la etapa de pelambre del proceso de curtido. Los resultados mostraron que la remoción de sulfuros a través de la combinación de la aireación y el empleo de MnO<sub>2</sub> y MnCl<sub>2</sub> resulta lograr la mayor eficiencia de remoción de sulfuros a una concentración de 1,5% (porcentaje de masa de la solución) de MnO<sub>2</sub> y MnCl<sub>2</sub> y un tiempo de aireación de 8 horas se logra la remoción de 83,1 y 98% de sulfuros, siendo este último el de mayor eficiencia.

**Palabras claves:** Efluente de curtiembre, Pelambre, Aireación, Sulfuros, Remoción.

### **ABSTRACT:**

The effluents generated in the peeling stage present the highest pollutant load of the total effluent from the tanning process with presence of sulfides, organic matter, this is due to the inclusion of additive such as (sodium sulfide (Na<sub>2</sub>S) and slaked lime (Ca(OH)<sub>2</sub>)) characteristic of this stage. For this reason, in the present study the oxidation-aeration method was used through the use of manganese in the form of MnO<sub>2</sub> (IV) and MnCl<sub>2</sub>; in order to demonstrate the effect of the manganese concentration at 0,5 ; 1 and 1,5% and the aeration time of 4 and 8 hours with an aeration flow of 0,2 l/min in the removal of sulfides from the effluent at the stage of growth of the tanning process. Through the combination of aeration and the use of MnO<sub>2</sub> and MnCl<sub>2</sub>, the highest sulfur removal efficiency is obtained at a concentration of 1,5% (mass percentage of the solution) of MnO<sub>2</sub> and MnCl<sub>2</sub> and an aeration time of 8 hours. The removal of 83,1 and 98% of sulfides was achieved, this being the last one with the highest efficiency.

**Key words:** Tannery effluent, Fur, Aeration, Sulfides, Removal.

<sup>1</sup> Universidad César Vallejo - Estudiante de Ingeniería Ambiental.  
E-mail: bersaavedras@gmail.com

<sup>2</sup> Universidad César Vallejo - Docente y asesor de Ingeniería Ambiental.  
E-mail: maquezadaa@ucvvirtual.edu.pe

## 1. INTRODUCCIÓN:

En la industria del calzado, específicamente las curtiembres o tenerías que, desde un punto de vista ambiental, siempre ha sido visto como una industria contaminante neta, sin tomar en cuenta que aprovecha un subproducto altamente putrescible y de biodegradación lenta (CONAM, 1999).

Hoy en día los métodos empleados para esta industria se basan en prácticas antiguas, que con los años han ido logrando su perfeccionamiento, dando mayor importancia abreviar el tiempo de curtido y mejorar su calidad de producto (Barretto, 2006); dejando de lado, las condiciones e impactos ambientales que generan por su complejo sistema de producción, el alto consumo de agua, generación de residuos sólidos, químicos empleados como insumos (sulfuros, cal, sal, cromo, biosidas, entre otros), y sobre todo la alta exposición de contaminantes; que conlleva la producción de cueros, haciendo que este genere un impacto negativo en la calidad de vida de los trabajadores y el medio ambiente.

En el proceso de curtido, precisamente en la etapa de pelambre es la de mayor importancia e impacto genera ya que emplea aditivos con alta solubilidad y toxicidad en el agua como sulfuro de sodio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) y cal apagada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) con el fin de la eliminación el material hecho de queratina (pelo, raíces de pelo y epidermis)(Salas, 2005).

Pero de otro lado, la presencia de sulfuros implica medidas, tratamientos y precauciones de mayor eficiencia, fácil aplicación, mejoras productivas necesarias para la disminución de su carga contaminante (CONAM, 1999).

En tanto, uno de los tratamientos de mayor eficiencia es el de oxidación- aireación, la cual de por sí sola es un método que permite la remoción de sulfuros, pero con un mayor tiempo de remoción; lo cual

para que sea más eficaz y sustentable se plantea la utilización de catalizadores; ya que estos por concepto hacen que las reacciones aceleren de manera directa o inversa en la misma proporción mas no afecta directamente a la termodinámica de la reacción (Avery, 2002).

Las curtiembres se basan en el procesamiento de las pieles provenientes de animales en general faenados para consumo, siendo un subproducto de la industria frigorífica (Salvador, 2013, p.20), la piel, es tratada de dos formas: Espolvoreándola con sal combustible junto con agentes bactericidas con el fin de evitar la putrefacción o refrigerada entre  $5^\circ\text{C}$  y  $8^\circ\text{C}$  (Barretto, 2006), el proceso general contempla tres etapas básicas que se presenta en el diagrama de flujo (Ver figura N°1)

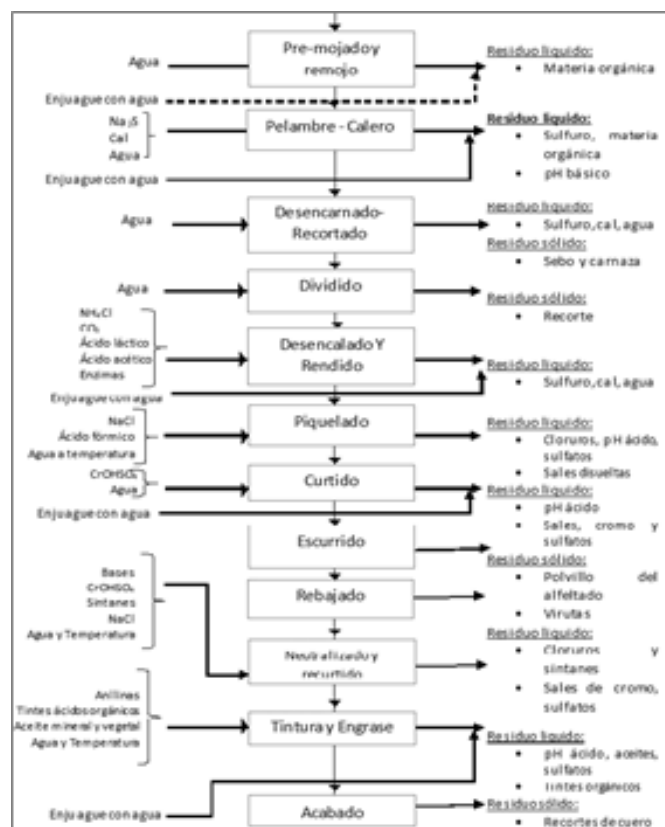


Figura N° 1. Proceso de curtiduría

Fuente: Contreras y Salvador, 2015

La etapa de pelambre involucra un químico- mecánico, que tiene la finalidad se disuelve el pelo

mediante el proceso de fermentación pútrida utilizando cal y sulfuro de sodio (Barretto, 2006). por el cual este y otras etapas dentro de proceso de curtido se realizan en medios acuosos, los cuales al presentar grandes concentraciones de elementos, sustancias como el sulfuro, en el efluente pueda causar una toxicidad por ser de carácter reductor provocando una radical daño inmediato o progresivo, en los cursos de agua (CONAM, 1999).

El tratamiento de oxidación por aireación ( $O_2$  como agente oxidante), al ser este poco soluble en agua, es necesario restablecer el oxígeno conforme se consume con el fin de mantener un oxígeno adecuado y permanente dentro de la solución (Peláez y Viñas, 1998). Un catalizador es un compuesto que permite modificar el camino de la reacción la cinética, sin intervenir en la termodinámica de la reacción (Didier, 2013). Al adicionar un catalizador hace que aumente la velocidad de reacción, mas no altera la constante de equilibrio, (Virgilius, et al; 2006) asimismo, aumenta la eficiencia de un proceso químico disminuye el costo y tiempo total del fabricante (Avery, 2002), en el caso de utilizar de manganeso (Mn) como catalizador con distintos estados de oxidación ( $Mn^{+2}$ ) y ( $Mn^{+4}$ ) permiten que la oxidación por aireación esta no generen impacto significativo en el medio ambiente debido que presentan características como: La variedad de estados de oxidación, permitiendo de esta manera una buena movilidad del oxígeno superficial, tener una suficiente estabilidad térmica y poca volatilidad. Asimismo, presentan una estructura típica de la bertolita con oxígenos lábiles en la red permitiendo al manganeso actuar como agente reductor o como agente oxidante (Picasso et al; 2011).

Es por ello, la presente investigación tiene como problema de investigación demostrar ¿Cuál es el efecto de la concentración del manganeso ( $MnO_2$  y  $MnCl_2$ ) y el tiempo de aireación en la remoción de

sulfuros del efluente en la etapa de pelambre del proceso de curtido?

Lo cual se planteó como objetivo general: Demostrar el efecto de la concentración del manganeso ( $MnO_2$  y  $MnCl_2$ ) y el tiempo de aireación en la remoción de sulfuros del efluente en la etapa de pelambre del proceso de curtido y como objetivos específicos:

- Evaluar el efecto de la concentración del manganeso ( $MnO_2$  y  $MnCl_2$ ) en la remoción de sulfuros.
- Analizar el efecto del tiempo de aireación en la remoción de sulfuros del efluente en la etapa de pelambre.
- Determinar estadísticamente cuál de las combinaciones de los catalizadores es más eficiente en la remoción de sulfuros del efluente en la etapa de pelambre del proceso de curtido y Comparar con el parámetro (sulfuros) según lo establecido en el D.S. N° 021-2009-vivienda.

En su trabajo de investigación por Portada, A. (2016); en su tesis “Tratamiento de aguas residuales del proceso de curtido en pieles por proceso fisico-químico de la curtiembre de la facultad de Ingeniería Química de la UNA-Puno”, cuyo objetivo fue la incorporación de un sistema de tratamiento del proceso de curtido en pieles por proceso fisico-químico de la curtiembre, donde se desarrolló mediante el método la oxidación de sulfuros en el proceso de pelambre utilizando como catalizador sulfato de manganeso (II) ( $MnSO_4$ ). Donde se concluyó que con la implementación de esta metodología se tuvo como resultado un porcentaje de oxidación del 91,45%, con una concentración inicial de 1127,59 mg/l de sulfuros.

Asimismo; Jarrín, L. (2016); en su trabajo de titulación “Reducción de sulfuros en el agua residual de la industria de la curtiembre” en la cual implementó un tratamiento de remoción de sulfuros en la indus-

tria de la curtiembre empleando el método de oxidación avanzada ( $H_2O_2$  y  $FeSO_4$ ) donde se determinó que las mejores condiciones del proceso fueron 2000ppm y 75ppm respectivamente, con una exposición de 4 horas con el fin de ser efectiva el cual se obtuvo un porcentaje de remoción entre 30% y 97%, sin embargo la cantidad de sulfuros (S=) al final del tratamiento siguió siendo alta pero menor a 100 ppm.

Según Tayupanda S. (2010). En su tesis “Diseño de un sistema de tratamiento de agua residual del proceso de pelambre para su reutilización, curtiembre pieles “PUMA”, que tuvo como objetivo diseñar un sistema de tratamiento de aguas residual del proceso de pelambre para su reutilización, curtiembre pieles “Puma” así como identificar los parámetros a controlar en el agua residual del proceso de pelambre empleando un sistema de tratamiento secuencial: Filtración, decantación y reutilización del efluente, donde se concluye que al caracterizar el agua residual de pelambre los resultados fueron 3295 mg/L de sulfuros (S-2) que luego del tratamiento se obtuvo valores de 1427 mg/L que equivale a una remoción de 43.31%.

Por otro lado, Kothiyal et al; (2016), en su trabajo de investigación “A comparative study on removal efficiency of sulphide and COD (demande chimique en oxygène) from the tannery effluent by using oxygen injection and aeration” cuyo objetivo fue la comparación entre la aireación normal y la inyección de oxígeno en presencia y ausencia del catalizador  $MnSO_4$ . Donde se concluyó que respecto a la inyección de oxígeno 0,5 LPM y la adición de  $MnSO_4$  (5% de concentración de sulfuro y DQO) a 8,5 de pH, se tiene la mayor eficiencia de remoción de 40,07% S= y 22,09% de DQO, por otro lado respecto a la inyección de oxígeno puro en las mismas condiciones que en el anterior se tuvo una

eficacia de 8,68% S= y 76,83% de DQO siendo este último el doble de efectividad.

Según Prabhakaran N; Swarnalatha C y Sekaran K, (2018), en su investigación “Catalytic oxidation of sulphide laden tannery wastewater without sludge production” cuyo objetivo la oxidación de sulfuro en licor de sulfuro de cal con la eliminación de DQO de las aguas de curtiembre, para ello empleo como método (HPO) oxidación de peróxido heterogéneo y oxidación catalítica de carbono inmovilizado fluidizado (FICCO). Donde se concluyó que este método logro la eliminación de COD, sulfuro, nitrógeno total, proteína, aminoácidos y TOC por 66,66; 98,95; 75,67; 44,21; 48,98 y 62,18%, respectivamente.

En la actualidad, en la ciudad de Trujillo, la industria de las curtiembres es una de las de mayor antigüedad e impacto ambiental generan, esto se debe al empleo de diversas tecnologías tradicionales que no son amigables con el medio ambiente, por la utilización de insumos químicos y un alto volumen de agua, por lo que genera de por si efluentes con características tóxicas de manera continua.

Es por ello esta investigación se enfoca en cinco aspectos; por conveniencia; lo que hoy en día se busca la toma de conciencia a través de la innovación de nuevas tecnologías alternativas que tengan un enfoque sostenible y sustentable, por relevancia social e implicaciones prácticas; la metodología oxidación- aireación con la utilización de catalizadores complementa una alternativa eficiente, sustentable, accesible y sobre todo fácil de implementar en la industria de producción de cuero (Sociedad y empresario) asimismo esta metodología contribuyendo en el ahorro energético, reducción de costos y la reducción del deterioro de la calidad del agua, el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, por valor teórico y utilidad metodológica; esta metodología contribuye más del 50% de la reducción de

los contaminantes presentes en el efluente total de vertimiento al alcantarillado y sobre todo al reconocer la eficiencia de la reducción de estas características del efluente contribuirían en la formación de nuevos procesos y sistemas a escala industrial en su mejora.

## 2. MATERIAL Y MÉTODO:

### Descripción del Tipo de Estudio y Diseño

La investigación presenta un diseño experimental tipo trifactorial ( $2 \times 3 \times 2$ ), la cual consta de tres factores (3 variables independientes):

- El tipo de sustancia que contiene al manganeso como catalizador  $MnO_2$  y  $MnCl_2$
- Concentración de sustancia que contiene al manganeso como catalizador (0,5; 1 y 1,5%)
- Tiempo de aireación (4 y 8 horas)

En la siguiente tabla se muestra una relación de las variables independientes tipo y cantidad de concentración del catalizador y el tiempo de aireación.

**Tabla N° 1.** Diseño de investigación

Tiempo de aireación (Horas)	Sustancia que contiene al manganeso como catalizador					
	A*( $MnO_2$ )			B*( $MnCl_2$ )		
	A <sub>1</sub> (0,5)	A <sub>2</sub> (1,0)	A <sub>3</sub> (1,5)	B <sub>1</sub> (0,5)	B <sub>2</sub> (1,0)	B <sub>3</sub> (1,5)
t <sub>1</sub> (4)	A <sub>1</sub> t <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> t <sub>1</sub>	A <sub>3</sub> t <sub>1</sub>	B <sub>1</sub> t <sub>1</sub>	B <sub>2</sub> t <sub>1</sub>	B <sub>3</sub> t <sub>1</sub>
t <sub>2</sub> (8)	A <sub>1</sub> t <sub>2</sub>	A <sub>2</sub> t <sub>2</sub>	A <sub>3</sub> t <sub>2</sub>	B <sub>1</sub> t <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> t <sub>2</sub>	B <sub>3</sub> t <sub>2</sub>

\*Cantidad de sustancia que contiene al manganeso como catalizador administrado en % de la masa de la solución.

Los ensayos se realizaron por triplicado para obtener datos más confiables.

### Población y Muestra

**Población:** Efluente de la etapa de pelambre del proceso de curtido de la curtiembre León de Judá.

**Muestra:** 5 litros por cada tratamiento del efluente de la etapa de pelambre del proceso de curtido de la curtiembre León de Judá.

### Metodología:

#### Obtención y conservación de la muestra

Para obtener el efluente de pelambre se tomó de la curtiembre León de Judá ubicado en la avenida Hipólito Unanue N° 549, del distrito el Porvenir, de la provincia de Trujillo, con coordenadas UTM 720360.84 E 9106776.69 S, el mismo que fue muestreado de acuerdo con el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales de la autoridad nacional de agua (Resolución Jefatural N°010-2016-ANA).

#### Construcción del sistema batch-process

Se construyó tres reactores, basado en el prototipo de reactor batch – process pues, cada uno fue utilizado para cada sustancia que contiene al manganeso como catalizador ( $MnO_2$  y  $MnCl_2$ ) y el testigo (solo inyectando oxígeno como agente oxidante), con respecto a la bomba de aire se colocó en medio del tanque para que de esa manera el flujo de alimentación de oxígeno (0,2 l/min).



**Figura N° 2.** Sistema batch del proceso de remoción de sulfuros del efluente de la etapa de pelambre del proceso de curtido

#### Proceso de oxidación

Se agregarán 5 litros de muestra del efluente en los reactores, simultáneamente se prenderá la bomba



que incorporará el oxígeno como agente oxidante, manteniendo un flujo de alimentación constante, dos de los reactores se incorporaran los catalizadores y solo uno quedo solo como el testigo. Este tanque se le añadieron los catalizadores con sus respectivas concentraciones, a medida de 4 horas se tomaron una muestra de cada reactor, en otras palabras, el cloruro de manganeso se le añadió (0,5% respecto a la masa de la solución), pasado las 4 horas se tomó el primer muestreo, asimismo, 4 horas más tarde se tomó una nueva muestra de agua, de igual manera se realizó para las concentraciones de MnO<sub>2</sub> (IV) de 1 y 1,5% y para el MnCl<sub>2</sub>.

### Evaluación

La muestra se le añadió agentes preservantes como Acido de zinc (ZnO) e Hidróxido de sodio (NaOH) para luego ser analizadas por el método azul de metileno.

### Método de análisis de datos

Para el análisis de los datos se realizó el análisis de la varianza (Anova), para comparar entre sí las medias o varianzas de los resultados obtenidos, así mismo se aplicó la prueba post hoc (Tukey) donde se considera para determinar el tratamiento más efectivo con respecto a la investigación.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evaluaron las condiciones iniciales del agua residual del efluente de la etapa de pelambre de la curtiembre León de Judá, antes de la aplicación del tratamiento de óxido-aireación; el cual se detallan en la Tabla N° 2; estos parámetros se compararon con los VMA valores máximos admisibles.

De los datos obtenidos en la tabla N° 2, tanto el pH y la concentración de sulfuros no cumplen con los valores máximos admisible establecidos; teniendo una concentración inicial de sulfuros con una dife-

diferencia (2222,3- 5= 2217,3 ppm) muy demostrativa, estos resultados conciertan con (Portada, 2016,) en el cual al determinar la caracterización de agua residual de la etapa de pelambre tuvo como resultado 1127,59 mg/L, la que se debe principalmente al empleo excesivo de insumos químicos como el sulfuro de sodio (Na<sub>2</sub>S) y cal (Ca(OH)<sub>2</sub>).

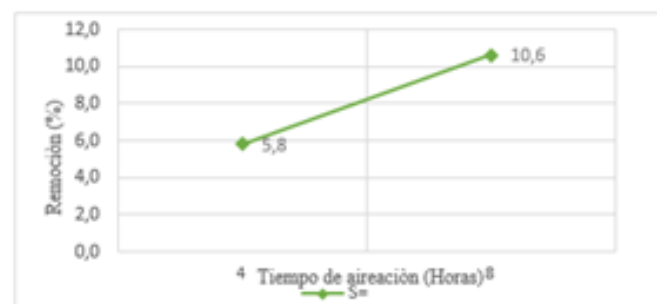
**Tabla N° 2.** Condiciones iniciales

Parámetro	Efluente inicial de la etapa de pelambre	VMA para descargas al sistema de alcantarillado
pH	10	6-9
T (°C)	26	-
Sulfuros (mg/l)	2222,3*	5

\*Valor promedio de la determinación de sulfuros en el efluente

### Ensayo de remoción de sulfuros en función del tiempo de aireación

A continuación se presenta la influencia que tiene el proceso de óxido-aireación, el cual se tiene como agente oxidante el oxígeno (O<sub>2</sub>), estos datos fueron tomados en dos tiempos (4 y 8 horas).

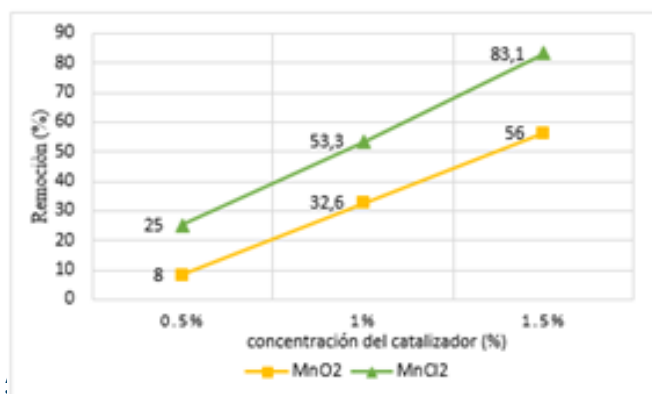


**Figura N° 3.** Porcentaje de remoción de S= en función del tiempo de aireación.

Al incorporar como tratamiento la oxido-aireación, tal como se aprecia en la figura N° 3, del cual se determinó la eficiencia del tratamiento, logrando

hasta un 10,6% de remoción de sulfuros con un tiempo de 8 horas teniendo una alcalinidad (pH) muy básica 10 y una alta concentración de sulfuros (2222,3 ppm), con tasa de flujo de aire 0,2 l/min lo cual este resultado discrepa con (Kothiyal, et. al; 2016), quien obtuvo mayor porcentaje de remoción de sulfuros, 40,07 %, con un tiempo de aireación de 7 h y usando una tasa de flujo de aire 0,5 l/min a un pH 8; esta diferencia se deba a distintos factores que influyen en la eficiencia de la remoción como la cantidad de sulfuros, pH y la tasa de flujo de aire (incorpora al O<sub>2</sub>), donde a mayor concentración de sulfuros y la alcalinidad sea más alta ocasiona una disminución en la eficiencia de su remoción; al mismo tiempo al ser el O<sub>2</sub> como agente oxidante, este es consumido por el sulfuros durante el proceso al tener flujo de aire mayor será la eficiencia (Prabahakaran, et. al., 2016).

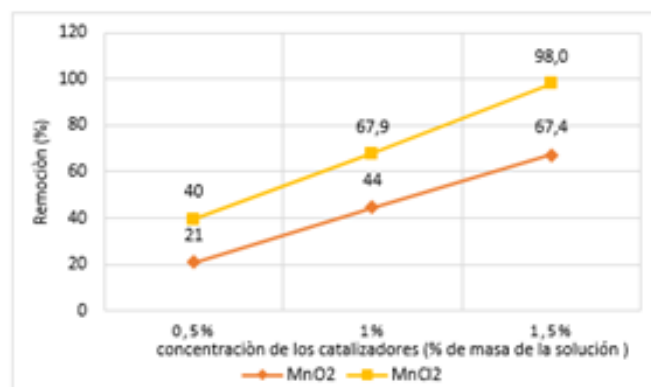
#### Influencia de la concentración del manganeso (MnCl<sub>2</sub> y MnO<sub>2</sub>) y tiempo de aireación en la remoción de sulfuros por el proceso de oxidación catalítica.



**Figura N° 4.** Porcentaje de remoción de S= en función a la concentración de catalizadores a 4 horas de aireación

Con el fin de mejorar el tratamiento de sulfuros se le incorporan catalizadores, ya que tiene como función principal acelerar la reacción, mas no intervenir en la termodinámica de esta (Avery, 2002) razón por la

cual en la presente tesis se emplearon al manganeso como catalizador en forma de MnO<sub>2</sub> y MnCl<sub>2</sub> respecto al tiempo de aireación la cual se puede apreciar en la figura N° 4 en donde se observa una remoción 83,1% de sulfuros con 1,5% de MnCl<sub>2</sub> con un tiempo de aireación de 4 horas, a diferencia de (Jarrin, 2016) en su investigación en donde empleó el proceso de oxidación avanzada (POA's) aplicando el sistema FENTON con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y FeSO<sub>4</sub> con concentraciones de 500 y 75 ppm a un tiempo de 4 horas alcanza una remoción de 58,94%; viendo de esta manera una diferencia de (83,1-58,94=24,8%) haciendo que de esta manera el tratamiento de óxido-aireación con el empleo de MnCl<sub>2</sub> es mucho más efectivo que la oxidación avanzada, asimismo (Kothiyal, et. al; 2016), en su investigación, el cual emplea como catalizador (MnSO<sub>4</sub>) logra una efectividad de 76,84% con 5% en peso de Na<sub>2</sub>S lo que demuestra que la oxidación de sulfuro usando MnSO<sub>4</sub> es más efectivo que ferroso sulfato (FeSO<sub>4</sub>) lo mismo hace referencia a que nuestra investigación resulta ser de mayor eficiencia se logra, siendo esta más efectiva.



**Figura N° 5.** Porcentaje de remoción de S= respecto a la concentración de catalizadores a 8 horas de aireación.

En la figura N° 5, se puede apreciar que al presenta 1,5% de concentración de MnCl<sub>2</sub> logra una remoción de 98%, en el doble tiempo que en la figura N° 5, este logrado con un flujo de alimentación cons-

tante de oxígeno de 0,2 l/min (0.003 l/seg, manteniendo un pH de 10, lo que hace que se difiera con (Salas, 2005) en donde realizó el mismo tratamiento empleando como catalizador  $MnSO_4$  (3,2 mg $MnSO_4$ / ml S-2) logrando una remoción alta (98,9%) en 6 horas teniendo un flujo de alimentación de 0,008 l/sg, asimismo al presentarse este efluente a un pH de 13(significando de esta manera una mayor inestabilidad y una menor concentración de sulfuro ácido), lo que hace que para la efectividad de remoción de S-2 influyen de manera directa sea mucho mayor. Asimismo al presentar un mayor flujo de alimentación de  $O_2$ , y una alcalinidad (pH) mucho más básica hace que este tratamiento se dé mayor efectividad.

Como se evidenció en la presente investigación, los mejores promedios de remoción de sulfuros 98 %, fueron alcanzados con el manganeso en su estado de oxidación +2, en forma de  $MnCl_2$  logra de manera significativa la remoción de sulfuros del efluente de la etapa de pelambre (2222,3 ppm hasta 44,3 ppm siendo esta la de mayor significancia), aunque de esta manera aún no se logra con lo determinado en la normativa vigente (5 ppm) asimismo, los investigadores (Peláez y Viñas, 1998) reportaron que a pH básico (<7) la reacción de oxidación catalítica de sulfuros, el  $Mn^{+2}$  aparece como un hidróxido prácticamente insoluble lo que se trata netamente de una reacción heterogénea gas – sólido – líquido y su velocidad va ser influido por la transferencia de masa – gas – líquido y por la forma de contacto y concentración del catalizador.

Por otro lado, al estar en manganeso en su estado de oxidación +4 en forma de  $MnO_2$  a 1.5% de concentración alcanza tan solo un 67% de remoción lo que hace que concuerde con (Virgilius, et al; 2006) quien menciona que al presentar como catalizador al  $MnO_2$  ocurre 2 estados diferentes: Al tener al  $Na_2S$

como insumo químico, esta hace que permita presente hidróxido de manganeso dentro de la reacción; el segundo estado ocurre la reacción catalítica de  $Na_2S$  y el  $O_2$  del aire, ambos estados funcionan de manera independiente permitiendo que tanto parámetros como el pH, temperatura y el flujo de alimentación del oxígeno y la temperatura influyan de manera directa a la oxidación catalítica.

**Tabla N° 3.** Prueba de Comparaciones Múltiples de Tukey de los promedios de remoción de sulfuro, con las interacciones entre el tipo de catalizador, concentración de catalizador y tiempo de aireación.

Orden de variación	Tipo de catalizador	Concentración del catalizador		Tiempo de aireación (horas)	Media	Significancia
		(%)				
12	$MnCl_2$	1,5	8	98,01	****	
11	$MnCl_2$	1,5	4	83,07	****	
8	$MnCl_2$	1	8	67,90	****	
10	$MnO_2$	1,5	8	67,44	****	
9	$MnO_2$	1,5	4	56,28	****	****
7	$MnCl_2$	1	4	53,23	****	
6	$MnO_2$	1	8	44,43	****	****
4	$MnCl_2$	0,5	8	39,64	****	
5	$MnO_2$	1	4	32,65	****	****
3	$MnCl_2$	0,5	4	25,06	****	
2	$MnO_2$	0,5	8	20,68	****	****
1	$MnO_2$	0,5	4	8,32	****	****

Esta tabla nos indica que el análisis de los promedios de remoción de sulfuros con relación a la interacción de los diferentes niveles de los factores tipo de catalizador, concentración de catalizador y tiempo de aireación confirma que no existe diferencia significativa en los promedios de remoción de sulfuros con las interacciones 8, 9 y 10; 6, 7 y 9; 4, 5 y 6; 5, 3 y 2; 2 y 1, pero con la interacción 12 se alcanzó el promedio más alto con una concentración de  $MnCl_2$  1,5 % y durante 8 h de aireación.

#### 4. CONCLUSIONES

La concentración del manganeso ( $MnO_2$  y  $MnCl_2$ ) y el tiempo de aireación tienen el efecto de acelerar el proceso de remoción de los sulfuros a través de la



de la oxidación de estos disminuyendo de esta manera la carga contaminante del efluente de la etapa de pelambre del proceso de curtido, Logrando que a 1,5% de MnO<sub>2</sub> y MnCl<sub>2</sub> y un tiempo de aireación de 8 horas una remoción de 83,1 y 98% de sulfuros respectivamente, siendo este último el de mayor eficiencia.

El efecto del tiempo de aireación en la remoción de sulfuros del efluente en la etapa de pelambre del proceso de curtido a un tiempo de aireación de 4 horas solo se logra una remoción de 5,9% mientras que a 8 horas 10%.

Se determinó estadísticamente (pruebas post hoc de Tukey y Scheffé) que de las combinaciones de los catalizadores más eficiente en la remoción de sulfuros del efluente en la etapa de pelambre del proceso de curtido es de 1,5% de concentración de MnCl<sub>2</sub> a un tiempo de 8 horas.

Según lo establecido en el D.S. N° 021-2009-VI-VIENDA, en el cual menciona que el valor máximo admisible (VMA) para sulfuros es de 5 ppm mientras que se logró una remoción hasta 44,3 ppm siendo este valor un por encima de los estimado con una concentración inicial de 2222,3 ppm logrando así un 98% de remoción de sulfuros.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] AVERY, He. Cinética química básica y mecanismos de reacción. Barcelona: Reverté S.A., 2002.145 pp. ISBN 84-291-7030-8.
- [2] BARRETTO, Silvia. Diseño de calzado urbano. Buenos aires: Nobuko, 2006.199 pp. ISBN 987-584-041-6.
- [3] Congreso nacional del medio ambiente. Guía para el control de la contaminación industrial. Sistema Nacional de Información Ambiental. [En línea] Región metropolitana, junio de 1999.
- [Citado el: 17 de 09 de 2017.] [http://www.sinia.-cl/1292/articles-39927\\_recurso\\_1.pdf](http://www.sinia.-cl/1292/articles-39927_recurso_1.pdf).
- [4] CONTRERAS, Sheyla y SALVADOR, Katerinne. Influencia del pH y tiempo de aireación en la remoción de sulfuros en efluentes provenientes de la etapa de pelambre de la industria de curtidería utilizando ácido fórmico, acético y cítrico. Tesis (Título de ingeniero ambiental).Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2015. Disponible en: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNI-TRU/3260>
- [5] DIDIER, Astruc. Química Organometálica. España: Reverté S.A. 2013.57 pp. ISBN 84 291 7007 3
- [6] JARRÍN, Lorena. Reducción de sulfuros en el agua residual de la industria de la curtiembre. Tesis (Título de ingeniera química).Quito: Universidad Central de Ecuador, 2016. Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/6907>
- [7] KOTHIYAL, Mahesh; DHIMAN, Sharinjeet y KAUR, Mandheer. A comparative study on removal efficiency of sulphide and COD (demande chimique en oxygen) from the tannery effluent by using oxygen injection and aeration. Revista International journal of environmental research, 10 (4): 525-530, 2016. ISSN: 1735-6865.
- [8] PELAEZ, Hedy y VIÑAS, María. Minimización de costos en la oxidación de sulfuros en curtiembres. XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Lima, Perú. 1998.
- [9] PORTADA, Alberto. Tratamiento de aguas residuales del proceso de curtido en pieles por proceso físico- químico de la curtiembre de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-PUNO. Tesis (Título de ingeniero químico). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2016. Dispo-

Disponible en <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4061>

- [10] PRABHAKARAN, Narayanasamy, SWARNALATHA, Chittur y SEKARAN, Kalaipuli. Catalytic oxidation of sulphide laden tannery wastewater without sludge production. New York: Aisect university journal.2016. pp. 1008 – 1015. ISBN: 2278-4187.
- [11] SALAS, Gilberto. Eliminación de sulfuros por oxidación en el tratamiento del agua residual de una curtiembre. Revista peruana de química e ingeniería química. Perú: (8): 49 – 54. 2005. ISSN 1609-7599.
- [12] Síntesis de catalizadores nano estructurados basados en óxido de manganeso para la eliminación de n-hexano por Gino Picasso [et al.].Lima: Revista de la Sociedad Química del Perú, 77 (1):11-26, 2011.ISSN 1810-634X.
- [13] TAYUPANDA, Segundo. Diseño de un sistema de tratamiento de agua residual del proceso de pelambre para su reutilización, curtiembre pieles “PUMA”. Tesis (Título de ingeniero químico). Quito: Escuela superior Politécnica de Chimborazo, 2010. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2650>
- [14] VIRGILIJUS, Valeika; KESTUTIS, Beleška y VAINETA. Valeikienė. Oxidation of Sulphides in Tannery Wastewater by Use of Manganese (IV) Oxide: Revista: Polish Journal of Environmental Studies. 15 (4): 623-629, 2016. ISSN: 1230-1485.