

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN



CENTRO DE INVESTIGACIÓN:

**TECNOLOGIAS ECOLOGICAS RACIONALES PARA EL
TRATAMIENTO DE EFLUENTES**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“SISTEMA DE TRATAMIENTO FISICOQUIMICO PARA
LA REMOCION DEL CROMO EN EFLUENTES
INDUSTRIALES PARA SU DISPOSICÓN FINAL”**

Autor: Dr Máximo Fidel Baca Neglia

Callao, 2018

PERÚ

INDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	03
I. PLANTEAMIENTO DEL PLOBLEMA	04
1.1. Descripción de la realidad problemática	04
1.2. Formulación del problema	06
1.2.1. Enunciado del problema	06
1.3. Objetivos	06
1.3.1. Objetivo general	06
1.3.2. Objetivos específicos	06
1.4. Justificación	06
1.4.1. En función de su naturaleza	07
1.4.2. En función de sus factores limitativos	07
1.4.3. En función de los factores de trascendencia	08
1.4.4. En función de los factores de vulnerabilidad	09
1.5. Limitaciones	09
1.6. Alcances de la investigación	10
II. MARCO TEORICO	11
2.1. Antecedentes	11
2.1.1. Antecedentes nacionales	11
2.1.2. Antecedentes internacionales	12
2.2. Marco	15
2.2.1 Teórico	15
2.2.1.1. Los efluentes	16
2.2.1.2. Aguas residuales domésticas	16
2.2.1.3. Calidad de efluentes domésticos tratados	16
2.2.2 Conceptual	19
2.2.3 Teórico – Conceptual	24
2.2.3.1. Sistemas de tratamiento	24
2.2.3.2. Sistema de Tratamiento de remoción de Metales en los efluentes galvánicos.	24
2.3. Definición de términos básicos	26
2.3.1. Parámetros de control para el tratamiento de aguas residuales	26
2.3.1.1. Partículas en Suspensión, Sólidos Totales	27
2.3.1.2. Contenido de microorganismos	27
2.3.1.3. Contenido Orgánico	27
2.3.1.4. Potencial Hidrogeno	28
2.3.1.5. Aceites y grasas	28
2.4. Normas Legales	31
2.4.1. Constitución Política del Perú	31
2.4.2. Ley N°28611, Ley general del Ambiente	32
2.4.3. D.L. N° 1055, modifica a la Ley N° 28611	32
2.4.4. Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA	32
2.4.5. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM	32
2.4.6. R.M. N° 026-ITINCI/DM Protocolo de Monitoreo	32

III.	HIPOTESIS Y VARIABLES	33
3.1.	Hipótesis	33
3.2.	Definición conceptual de las variables	33
3.2.1.	Variable independiente	33
3.2.2.	Variable dependiente	33
3.3.	Operacionalización de las variables	33
3.3.1.	Indicadores operacionales de la variable independiente.	33
3.3.2.	Indicadores operacionales de la variable dependiente.	34
3.4.	Definición operacional de la variable	34
IV.	DISEÑO METODOLOGICO	35
4.1.	Tipo y diseño de la investigación	35
4.2.	Método de investigación	37
4.3.	Población y muestra	38
4.4.	Lugar de estudio	38
4.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	38
4.6.	Plan de Trabajo	39
4.7.	Análisis y procedimientos de datos	39
V.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	40
VI.	PRESUPUESTO	41
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	41
	ANEXOS	45

INTRODUCCION.-

El presente proyecto de investigación denominado “SISTEMA DE TRATAMIENTO FISICOQUIMICO PARA LA REMOCION DEL CROMO EN EFLUENTES INDUSTRIALES PARA SU DISPOSICIÓN FINAL”, pretende proponer evaluar el sistema de tratamiento fisicoquímico para la remoción del Cromo (Cr) del efluente industrial.

El Cr es uno de los elementos que pueden encontrarse en las aguas residuales procedentes de una gran variedad de procesos industriales, su toxicidad depende del estado de oxidación y concentración en que se encuentra, siendo de especial importancia la eliminación de cromo hexavalente presente en los sistemas acuosos, por su reconocido carácter cancerígeno. En el Perú, el cromo está incluido en la lista de sustancias preferentes del DS N° 021-2009-VIVIENDA, del 20 de noviembre 2009, por el que se fijan los objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes en las aguas de los efluente industriales. Esto obliga a muchas empresas a aplicar tecnologías de prevención de la contaminación y de recuperación del cromo de sus aguas residuales.

El tratamiento fisicoquímico es una opción para el tratamiento de estos efluentes contaminados con Cr (VI), de modo que su implementación permita ser una opción para que el efluente industrial una vez tratado en forma continua pueda ser dispuesto al sistema de alcantarillado cumpliendo con la normatividad vigente es decir con el DS N° 021-2009-VIVIENDA, del 20 de noviembre 2009.

Los efluentes industriales con alto contenido de metales específicamente el Cr VI y Cr total que se hallan contaminados por la presencia de este metal y que sin tratamiento no cumplen con los Valores Máximos Admisibles (VMA) aprobados por el DS N° 021-2009-VIVIENDA, son los provenientes de la Industrias del Cueros (curtido de pieles), Industrias Textiles (pigmento de color), Industrias de Recubrimiento Metálico (procesos electro galvánicos), Industria Químicas (fungicidas, anticorrosivos) entre otras.

Las aguas residuales procedentes de estas industrias, están contaminadas con este metal, con el gran componente de riesgo medioambiental y para la

salud humana que conlleva. De ahí que el VMA en la norma es de 0.5 mg/L y 10 mg/L respectivamente para el caso del Cr (VI) y Cr total, esto obliga a la mayoría de empresas e industria relacionadas a aplicar tecnologías de prevención de la contaminación e inclusive de recuperación del cromo de sus aguas residuales.

De otro lado, el presente trabajo de investigación se plasma en un conocimiento teórico y práctico sobre el problema o temas de estudio como son los tratamientos de los efluentes industriales y otros, es así que se ha revisado una amplia información sobre los sistemas de tratamiento para efluentes específicamente a los del tipo industrial, revisando estudios sobre la aplicación de estos, los mismos que se habían dirigido con fines de estudiar las eficiencia que ocurren durante estos procesos con el fin de reducir la contaminación presente, revisando al mismo tiempo los procesos de diseño de plantas adoptando por las que mejor se adapta de acuerdo al proceso de diseño, por las características propias del efluente industrial.

El presente trabajo de investigación como objetivo principal es proponer un sistema de tratamiento fisicoquímico, siendo necesario simular a nivel de laboratorio este tratamiento a partir de pruebas de Jarras y posteriormente hace necesario diseñar, diseñar el sistema de tratamiento para su implementación dentro de los conceptos de Innovación Tecnológica para el tratamiento de los efluentes industriales.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.-

1.1. Descripción de la realidad problemática.- Los efluentes industriales generados en las plantas donde se utilizan sales de Cromo para su distintos procesos como el curtido de pieles, coloreados de fibras textiles, recubrimiento de metales por galvanostegia, fabricación de fungicidas y anticorrosivos entre otras, presentan características complejas cuyas concentraciones superan los VMA que no le permite su disposición final al colector de efluentes domésticos y peor si este no existe y aún sin ser tratados previamente.

Las soluciones que pueden aplicarse para resolver el problema de disposición final derivados de la calidad del efluente, que son los más perjudiciales, pueden ser:

1. Modificación de operaciones y procesos en la planta industrial, compatibles con la producción y calidad de los productos a obtener, con el objeto de disminuir o minimizar los volúmenes de los efluentes o contenido de materia orgánica e inorgánica en las descargas.
2. Tratamiento de los efluentes por métodos fisicoquímicos y biológicos, con el fin de reducir el valor de los parámetros controlados hasta los límites fijados por las reglamentaciones vigentes.
3. Aprovechamiento integral o parcial de los efluentes para recuperar productos valiosos, que ofrezcan alguna rentabilidad interesante.

El efluente industrial difiere del doméstico, en que generalmente contienen muy pocos microorganismos y un número limitado de sustratos. Las diferencias del poder contaminante entre un efluente industrial y uno doméstico, que están directamente relacionadas con el contenido de materia orgánica que es medido generalmente en términos de Demanda de Oxígeno Biológica (DBO) o Química (DQO), pueden ser muy considerables. Si comparamos los valores conocidos de DQO y de DBO es decir 234,060 y 76,500 mg/L respectivamente, con los domésticos que suelen tener valores de 120 a 300 mg/L, puede visualizarse la magnitud del problema que presenta este efluente para su tratamiento, sumados al pH: 4.7; SS: 49 mL/Lxh; STS: 4,962 mg/L; y el de Aceites y Grasas: 240 mg/L, entre otros.

Dada la complejidad de este por su composición, es conveniente para el estudio del sistema de tratamiento fisicoquímico para la remoción del Cromo (Cr) del efluente industrial, considerar aspectos fundamentales como:

- a) Neutralización
- b) Coagulación/Floculación
- c) Sedimentación, entre otros.

El conocimiento de estos aspectos en conjunto con la naturaleza de la calidad del efluente, contribuyen en forma integrada al mejor diseño del proceso y operación de los distintos **tipos de tratamiento**.

1.2. Formulación del problema.-

1.2.1. Enunciado del problema.- De modo que podemos expresar el planteamiento del problema a modo de una pregunta:

¿En qué medida es posible reducir el Cromo presente en un efluente industrial a través del tratamiento fisicoquímico, de modo que cumpla con la normatividad vigente previo a su disposición final?

1.3. Objetivos.- Para desarrollar convenientemente el presente trabajo de investigación hay que plantear el objetivo en concordancia al planteamiento del problema, siendo en consecuencia:

1.3.1. Objetivo general.- Simular y evaluar a nivel de laboratorio el sistema de tratamiento fisicoquímico para los efluentes industriales con presencia de cromo para su disposición final.

1.3.2. Objetivos específicos.-

- Caracterizar el efluente industrial previos a su tratamiento.
- Evaluación a nivel de laboratorio con Pruebas de Jarras (simulación del tratamiento fisicoquímico), con muestras industriales con contenido de cromo.
- Determinar la eficacia de la remoción del cromo y de otros parámetros.
- Determinar parámetros hidráulicos para el diseño del sistema de tratamiento.
- Diseñar el sistema de tratamiento para un determinado caudal de tratamiento.

1.4. Justificación.- El presente trabajo de investigación se justifica debido a la necesidad de remover y/o reducir la concentración del cromo del efluente industrial, dentro de los valores máximos admisible para su

disposición final a la red de alcantarillado en cumplimiento al D. S. N° 021-2009-VIVIENDA.

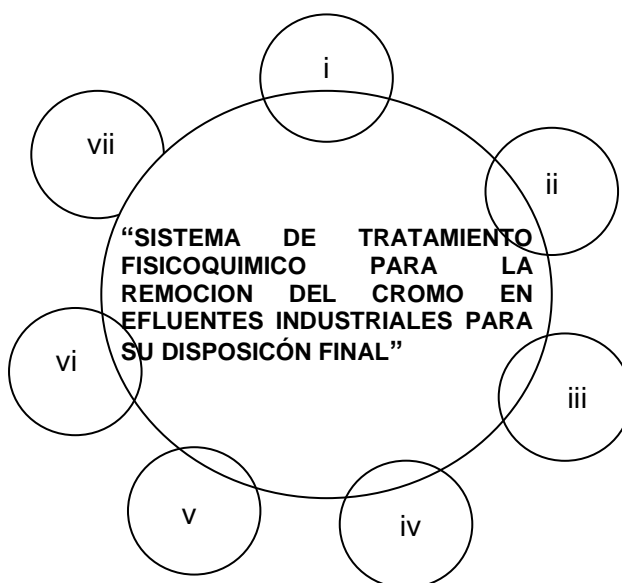
Por lo que el presente trabajo de investigación se enmarca dentro del modelo de Innovación Tecnológica. La calidad de los efluentes industriales con presencia de cromo, se dispondrán a ser sistema de tratamiento fisicoquímico que acondicione las características del efluente tratado para su disposición final.

1.4.1. En función de su naturaleza.- el tema central está conectado con los siguientes sub temas:

- i Caracterización de los efluentes industriales desde el punto de vista Químico, Físico y Bacteriológico;
- ii Volúmenes de efluentes generados;
- iii Proceso de tratamiento;
- iv Clasificación de las Aguas;
- v Control de Calidad de los Efluentes;
- vi Pruebas a nivel de laboratorio.
- vii Sistema de tratamiento de los efluentes.

Todos los sub-temas necesitan ser tratados con profundidad, por lo que determinamos que es un tema de tipo **Compuesto**, según la Figura 1 que se muestra:

Figura 1



1.4.2. En función de sus factores limitativos:

i Temporalidad, Si tiene, en razón de que la calidad de los efluentes industriales varían en función de las actividades y procesos que ocurren durante el día, dado que el efluente tanto en su característica como en su volumen varían en función de que este se genera durante las diversas horas del día, el proyecto de Investigación en su etapa de evaluación a nivel del sistema de tratamiento fisicoquímico tendrá que prever un sistema que homogenice la calidad y el volumen del efluente previos al tratamiento;

ii Espacial, contempla tratar con algún efluente generado por industria instalada en ciudad de Lima y/o Callao por cuando se evalúa la posibilidad que el sistema de tratamiento se implemente a nivel de una industria cuyo efluente se halle contaminado con cromo, implementado el sistema propuesto.

iii Clasificación, de acuerdo a los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema alcantarillado sanitario precisadas por el Decreto Supremo N° 021 – 2009 – VIVIENDA, de fecha 20 de noviembre de 2009, en su Anexo N° 02 donde especifica los VMA para cada parámetro.

iv Calidad, utiliza el sistema de tratamiento fisicoquímico simulado a nivel de laboratorio para el diseño de un prototipo compacto que opere de forma continua para tratar efluentes industriales.

v Cantidad, caudal de tratamiento estimado en medio m³/día de los efluentes industriales.

1.4.3. En función de los factores de trascendencia: Consideramos que el tema desde el punto de vista de la investigación y/o estudio tiene trascendencia, porque al no cumplir con los VMA establecidos por el Decreto Supremo N° 021 – 2009 – VIVIENDA para el efluente industrial previos a su disposición final afectaría la calidad de los desagües captados por la red pública de Lima administrada por SEDAPAL y que estos lleguen en la calidad adecuada para su tratamiento en las plantas de tratamiento de desagües, el hecho de incumplir con la norma vigente, hace que la

calidad del desagüe se deteriore ocasionando problemas durante su conducción hacia el tratamiento (generando gases – malos olores por efectos de no cumplirse con los VMA de los parámetros.

1.4.4. En función de los factores de vulnerabilidad: El problema de investigación es vulnerable desde el momento que las condiciones están dadas y podremos conocer sus causas y consecuencias posteriores a la demostración - comprobación de la hipótesis. Actualmente, los efluente industriales generados por las Industrias del Cueros (curtido de pieles), Industrias Textiles (pigmento de color), Industrias de Recubrimiento Metálico (procesos electro galvánicos), Industria Químicas (fungicidas, anticorrosivos) entre otras no son tratados convenientemente y son dispuestos al colector como punto de disposición final caso de la ciudad de Lima y Callao se disponen a la red de desagües domésticos de SEDAPAL, y de ahí a sus colectores principales los cuales derivan los desagües captados a la plantas de Tratamiento de Taboada para ser arrojadas al Mar en la Bahía del Callao y otros a la Planta de la Chira, para de igual manera vertidas al Mar al norte de la Bahía de Lima, como puntos de disposición final, de modo que se traslada la contaminación del cromo al mar, dado que las plantas de tratamiento de SEDAPAL no remueven metales.

1.5. Limitaciones.- La limitación del presente tema de investigación radica principalmente en la no reutilización de los efluentes industriales tratados para su reúso en el riego de áreas verdes y jardines, es decir los efluentes industriales serán tratados para su disposición al sistema de alcantarillado. Este sistema de tratamiento dependiendo del éxito de la investigación podría ser implementado en la capacidad requerida por la industria dependiendo del caudal generado.

1.6. Alcances de la investigación.-

- La investigación es del tipo Experimental, por lo tanto de carácter aplicada, para ello se simulara el tratamiento fisicoquímico a nivel de laboratorio, el mismo que permitirá obtener parámetros hidráulicos para el

diseño de una planta de tratamiento para estos efluentes industriales para su disposición final y que sirva como una propuesta para esta necesidad.

- La codificación que corresponde al trabajo de Investigación la podemos describir desde dos puntos de vista:

Código: Plan Nacional CTI
03 Ambiental
0302 Recursos Hídricos
0302.0008 Adaptación y desarrollo de tecnologías para la recuperación de fuentes de agua afectadas por contaminación.

Código: UNESCO
3308 Ingeniería y Tecnología del Medio Ambiente.
3308.10 Tecnologías de Aguas Residuales.

- Sector que se verá beneficiado de los resultados:
 - La Universidad Nacional del Callao a través de Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, y el suscrito, porque de los resultados obtenido en esta investigación se podrá obtener la Patente como Modelo de Utilidad para Sistema de Tratamiento Físicoquímico para el tratamiento de efluentes contaminados de cromo.
 - SEDAPAL, porque de lograr la comercialización del sistema de tratamiento por alguna institución privada que haga uso de la Patente, y al implementarse este sistema en industrias de ciudad, se dejaría de contaminar los desagües domésticos.
 - Los profesionales de la especialidad y los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales a los que se les transferirá la experiencia obtenidas durante el trabajo de Investigación.

II. MARCO TEORICO.-

2.1. Antecedentes.-

2.1.1. Antecedentes nacionales.-

- i. **G. Salas Carlotta, 2005**, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, paper: **Reúso de cromo en el tratamiento de Efluentes de una curtiembre:**

“El método convencional del curtido de pieles en la industria de cuero es usando sales de cromo. El agotamiento del cromo es muy pobre, de tal modo, que el cromo no fijado se elimina como tóxico en el efluente. Una de las opciones de proceso más limpias recomendadas es que el cromo que se emite con el efluente, se puede recuperar para su reutilización asegurando no solamente la economía del uso del cromo, sino también una disminución del impacto ambiental de esta sustancia tóxica.

Previo a la precipitación del cromo del agua residual de curtido, con un contenido de 3200 mg/L de Cr (pH= 3,5) se flota la grasa y se separan los sólidos suspendidos en un sistema de flotación por aire disuelto - sedimentador. El cromo es luego es precipitado a un pH de 9.1, usando magnesia comercial, con un contenido de 65% de MgO lográndose una eficiencia de separación de 99,9% (Cr en efluente final = 0,0072 mg/L) y un consumo de 0,12 kg de MgO por cada kg equivalente de Cr₂O₃. El precipitado de cromo es re disuelto con ácido sulfúrico concentrado y reusado en el proceso de curtido de costra.”

ii. H. Cordova Bravo, R. Vargas Parker, et al, 2014 en su trabajo de investigación: **Tratamiento de las aguas residuales del proceso de curtido tradicional y alternativo que utiliza complejantes de cromo**; publicado en la Revista de la Sociedad Química del Perú, Vol 80, N° 3, julio/set 2014; Trata sobre:

“Los métodos tradicionales de producción de cueros en el Perú consumen en promedio entre el 60 al 80% del cromo utilizado para el proceso de curtido, generando aguas residuales con altas concentraciones de cromo total que deben ser tratadas para poder cumplir con los Valores Máximos Admisibles (VMA) establecidos por el DS 029-2009-Vivienda. El uso de agentes complejantes de cromo en el proceso de curtido permite reducir la oferta de cromo incrementando la absorción en la piel. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la tratabilidad por precipitación química de las aguas residuales de los procesos tradicionales y alternativos de curtido, además de

comparar las condiciones de tratamiento de los efluente de curtido de un proceso tradicional, con procesos alternativos que utilizan agentes acomplejantes y basificantes. Se determinó que el pH óptimo para la precipitación estuvo entre 7,36 y 9,99; además, las dosis utilizadas de hidróxido de sodio estuvieron entre 0,5 y 5,5 g/L, siendo el proceso tradicional el que requiere mayor dosis. Se determinó que el costo de los insumos empleados en la producción del cuero a wet blue es mayor al costo de insumos empleados en el tratamiento de las aguas residuales de curtido, cuando los valores de cromo total son menores a 650 mg/L”.

2.1.2. Antecedentes internacionales.-

i. G. Espinosa Narváez & G. Mera Córdoba, 2015, Manizales – Colombia, en su tesis de Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente: **Alternativas ambientales para la remoción de cromo hexavalente en residuos líquidos de los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño**; trata de:

“Los residuos peligrosos poseen características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radioactivas que representan un riesgo para la salud y el medio ambiente, y su adecuado manejo debe ser responsabilidad de quien los produce. En los Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño se generan residuos de cromo hexavalente, compuesto altamente cancerígeno y de importancia ambiental que requiere un manejo especial para su eliminación. Actualmente, no se ha implementado un método alternativo para su tratamiento sin el impacto del proceso químico convencional. En esta investigación, se evaluaron dos alternativas ambientales para la remoción de cromo hexavalente en residuos líquidos de laboratorio, la fotocatalisis heterogénea empleando TiO_2 como catalizador y la bioadsorción utilizando cáscara de plátano verde como bioadsorbente. Se utilizó un diseño factorial 23 con niveles alto y bajo, para optimizar las variables pH (1,5), cantidad fotocatalizador (0,5 g) y tiempo de

irradiación (60 minutos) para el proceso de fotocátalisis y pH (1,5), cantidad de bioadsorbente (1 g) y tiempo de contacto (60 minutos) para la bioadsorción. Se obtuvieron porcentajes de remoción del $96,07 \pm 0,65$ % para fotocátalisis y del $99,94\% \pm 0,01$ para el proceso de bioadsorción, partiendo de una concentración de 1.634 mg/L de Cr (VI) en los residuos líquidos, obteniendo un mejor desempeño la bioadsorción con un nivel de confianza del 95%. De igual forma, esta alternativa presentó la mejor viabilidad técnica y ambiental con un 89% comparada con un 62% de la fotocátalisis, así como los menores costos. Ambos procesos se presentan como una opción ambientalmente sostenible para la eliminación de Cr (VI) dentro de la gestión de residuos peligrosos. "

ii. R. Martínez Pérez, D. Bautista Mata, et al., 2008, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México, en su trabajo de investigación titulado: **Remoción y Reducción del Cromo VI en solución por cascaras de Lichee (*Litchi chinensis* Soon; se analizó:**

“Debido a las actividades industriales, como la producción de acero, minería, cemento y curtido de pieles, ciertas zonas de México, sobre todo el estado de Guanajuato, tienen altos niveles de Cromo en suelo y agua (Armienta-Hernández y Rodríguez, 1995). El uso de lodos de aguas negras y fertilizantes con diferentes concentraciones del catión, también son factores que contribuyen a la contaminación ambiental por el metal (Acevedo-Aguilar y cols., 2006). El metal se encuentra presente en agua y suelo principalmente en dos formas de oxidación: Cr (III) ó Cr (VI), aunque también puede encontrarse como óxido de Cromo, sulfato de Cromo, trióxido de Cromo, ácido crómico y dicromato (Zouboulis, et al., 1995). En presencia de materia orgánica, el Cr (VI) presente en aguas y suelos es reducido a Cr (III); sin embargo, altas concentraciones del ion en estado hexavalente pueden sobrepasar esta capacidad de reducción, lo que impediría su adecuada eliminación (Cervantes, et al., 2001).

Pese a que el Cromo es un elemento esencial para hombres y animales, niveles elevados de este metal (15 mg/ L en agua de ríos y 0.10 mg /L en agua potable Art. 4º, NTE-CCA-021/88) son tóxicos en los seres vivos. El Cromo (VI) tiene efectos carcinogénicos en animales y mutagénicos en humanos y bacterias (Cervantes et al., 2001), en aguas residuales, se encuentra en solución como CrO_4^{2-} (Cotton y Wilkinson, 1980), y removerse por reducción, precipitación química, adsorción e Intercambio iónico (Cervantes et al., 2001). Siendo el proceso más utilizado la adición de un agente reductor que convierta el Cromo (VI) a Cromo (III) y su posterior precipitación con soluciones básicas a $\text{Cr}(\text{OH})_3$ (Campos et al., 1995).

Recientemente, se ha analizado el uso de metodologías alternativas, como la reducción de Cr (VI) a Cr (III) por bacterias, hongos y levaduras, así como materiales de desecho, y residuos industriales agrícolas o urbanos, entre los que se encuentran: residuos de manzana (Lee y cols., 1998), corteza de árbol (Sarin y Pant, 2006), cáscara de avellana (Cimino y cols., 2000), cáscara de mandarina y naranja (Pavan y cols., 2006; Pérez-Marín y cols., 2007), por lo que es de gran interés analizar otros materiales de desecho y por lo tanto económicos, para tratar de eliminar el Cromo VI de aguas y suelos contaminados y la biorremediación de los mismos. Por lo que el objetivo de este trabajo analizar la remoción y reducción de Cr (VI) en solución acuosa por la cáscara de Litchi (*Litchi chinensis Sonn*).”

iii. J. Juárez Ríos, G. Roa Morales y S. Hernández López, 2016, Facultad de Química, UAEM, Toluca-México, en su trabajo publicado: Remoción de cromo hexavalente en solución acuosa por precipitación y floculación; la investigación trata sobre:

“...El cromo es uno de los metales pesados de mayor importancia en la actualidad debido a su elevada toxicidad, su presencia en efluentes industriales se debe a que es usado ampliamente en los procesos de cromado, manufactura de

pigmentos y colorantes, curtido de pieles, aceros inoxidable e industrias galvánicas; esto ha llevado a mantener un control riguroso sobre su concentración en dichos efluentes. En el presente trabajo se precipitó químicamente el Cr (VI) presente en una solución acuosa, seguido de un proceso de floculación utilizando un polielectrolito aniónico.

Siendo el objetivo, remover el cromo presente en solución acuosa por precipitación química y evaluar el efecto de un polielectrolito aniónico sobre el precipitado de BaCrO_4 , logrando la remoción de Cr (VI) presente en solución acuosa, utilizando la técnica de precipitación y floculación demostró ser un método eficaz. La cantidad de polielectrolito aniónico necesario para tratar un litro de solución fue de 5 mg. siendo esta una cantidad relativamente pequeña. El polielectrolito demostró ser un agente floculante eficaz al ayudar a que el precipitado de BaCrO_4 , sedimentara con una mayor velocidad, permitiendo así la separación del Cr (VI) de la solución.”

2.2. Marco.-

2.2.1. Teórico.- Tendremos que referirnos primero al concepto de Efluentes, en segundo lugar debemos referirnos a las Aguas residuales no domésticas en tercer lugar a la Calidad de efluentes no domésticos provenientes de la industria galvánica, dado que, este es el tipo de efluente que utilizaremos para evaluar el sistema de tratamiento fisicoquímico para la remoción del cromo.

2.2.1.1. Los efluentes.- son una mezcla compleja que contiene agua, mezcla de contaminantes orgánicos e inorgánicos tanto en suspensión como disueltos que implican una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica, (Hernández Muñoz y Hernández Lehmann, 1995, p 13). Los principales contaminantes en el agua residual entran en las siguientes categorías: nitrógeno, fósforos, organismos patógenos, metales pesados, y trazas orgánicas. Los patógenos incluyen bacterias, virus, protozoarios y helmintos. Los metales pesados

incluyen cadmio, cobre, cromo, plomo, mercurio, selenio, y zinc. Las trazas orgánicas incluyen compuestos sintéticos muy estables, sobre todo hidrocarburos clorados, (Lara Borreo J. 1999, p. 19).

2.2.1.2. Aguas residuales no domésticas.- Descarga de líquidos producidos por alguna actividad económica comercial e industrial, distinto a los generados como producto de la preparación de alimentos, del aseo personal y de desechos fisiológicos (D.S. N° 003-2011-VIVIENDA).

2.2.1.3. Calidad de efluentes no domésticos provenientes de la industria Galvánica.-

El proceso industrial implica consumo de agua en los baños electrolíticos, en las etapas de lavado y enjuague. Los efluentes de las descargas de los procesos de enfriamiento, goteos, derrames de trasiego, baños de procesos agotados, mantenimiento de baños de proceso, baños de remoción, acondicionamiento y pérdidas accidentales entre otros, generalmente son muy ácidos o alcalinos con una carga contaminante tóxica ya que contiene sustancias tales como cianuros y metales pesados. Por lo tanto su descarga y eliminación debe ser cuidadosamente controlada y tratada para minimizar el impacto en los cuerpos de agua receptores. La Tabla 1 muestra de forma general los principales “Efluentes identificados en los procesos de galvanizado”.

**Tabla 1
Efluentes identificados en los procesos galvánicos**

Proceso	Materia Prima	Residuo Generado
Limpieza y pulido	Micro polímeros, jabón	Agentes tensoactivos, partículas en suspensión
Desengrase	Soda, metasilicato sódico humectante.	Aceites, grasas libres y emulsionadas
Baños de revestimiento de metales	Cianuro de sodio, sal de rochelle, Sales de cromo, ácido sulfúrico, cianuro de cobre, carbonato de sodio, sulfato de cobre.	Baños de proceso agotados o contaminados con presencia de iones de: Cu, Na, K, Cr, amonio, cianuros, fosfatos, Sulfatos.

Enjuague	Agua	Efluentes diluidos de lavado de piezas
----------	------	----------------------------------------

Fuente: ACOSTA et al. Identificación del Manejo de Metales de Vertimientos de la Industria Galvánica. Gestión Integral en Ingeniería Neogranadina, 1(1): 1-11, diciembre 2009.

En el tratamiento de este tipo de efluentes galvánicos la práctica habitual es separar las descargas ácidas junto con las que contienen níquel o cromo de las descargas alcalinas y de cianuro que pueden contener metales como el zinc, cadmio o cobre. Esto debido a que las aguas residuales que presentan cianuro deben mantenerse alcalinas ya que el *pka* (HCN) es 9,21 y en ese pH la mitad del cianuro estaría presente como HCN volátil. La mezcla de cianuro y aguas residuales acidificadas puede generar gas letal de cianuro de hidrógeno, altamente tóxico y contaminante. (Osborne Ken, 2008).

El impacto ambiental de las aguas residuales de la industria galvánica contiene metales pesados, aceites, grasas y sólidos suspendidos en niveles considerados peligrosos para el medio ambiente y la salud pública. Los metales pesados son bio-acumulables debido a que no son química ni biológicamente degradables, su persistencia en el medio ambiente provoca entre otros efectos los siguientes:

- La contaminación de las cadenas alimenticias.
- Consumo de oxígeno en las corrientes de agua, DQO, que afecta la vida acuática.
- Contenido de sustancias tóxicas (cromo, níquel, cianuros, entre otros).
- Altos contenidos de sólidos en suspensión, sólidos disueltos, grasas y aceites.
- Valores extremos de pH.

Compuestos Xenobióticos y recalcitrantes. Un xenobiótico (del griego *xenos* “extraño”) es un compuesto que es extraño en un organismo. Los compuestos xenobióticos se están convirtiendo en

un problema cada vez más importante en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, ya que son sustancias que no se producen comúnmente por la naturaleza y son muy difíciles de eliminar del medio ambiente. Algunos microorganismos pueden ser capaces en cierta medida de descomponer compuestos xenobióticos, pero la mayoría no son degradables. Tales compuestos son conocidos por ser recalcitrantes. Los metales pesados y algunos compuestos orgánicos son tóxicos y se cree que tienen resistencia a ser biológicamente degradados. (Varsha, Y. et al, 2011).

Normativa ambiental vigente. Debido a la alta toxicidad y corrosividad de las corrientes de desechos galvánicos, los parámetros de descarga se deberán ajustar a los requerimientos de la normativa ambiental vigente establecida en DS 029-2009-Vivienda que es el documento oficial al cual se debe regir la industria nacional y por lo tanto es referencia para este trabajo, los valores que se muestran en las Tablas 2 y 3 que corresponde a los Anexo N°1 y N°2 del referido DS, respectivamente:

Tabla 2

Anexo N° 1

PARÁMETRO	VMA	UNIDAD
DBO	500.00	mg/l
DQO	1,000.00	mg/l
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	500.00	mg/l
ACEITES Y GRASAS	100.00	mg/l

Tabla 3

Anexo N° 2

PARÁMETRO	VMA	UNIDAD
ALUMINIO	10.00	mg/l
ARSÉNICO	0.50	mg/l
BORO	500.00	mg/l
CADMIO	0.20	mg/l
CIANURO	1.00	mg/l

COBRE	3.00	mg/l
CROMO HEXAVALENTE	0.50	mg/l
CROMO TOTAL	10.00	mg/l
MANGANESO	4.00	mg/l
MERCURIO	0.02	mg/l
NÍQUEL	4.00	mg/l
PLOMO	0.50	mg/l
SULFATOS	1000.00	mg/l
SULFUROS	5.00	mg/l
ZINC	10.00	mg/l
NITROGENO AMONIAICAL(2)	80.00	mg/l
pH	6 - 9	unidad
SÓLIDOS SEDIMENTABLES (2)	8.50	mg/l
TEMPERATURA(2)	< 35	°C

Nota: (1) La aplicación de estos parámetros a cada actividad económica por procesos productivos, será precisada en el reglamento de la presente norma tomando como referencia el código CIIU. Aquellas actividades que no estén incluidas en este código, deberán cumplir con los parámetros indicados en el presente Anexo. Los parámetros establecidos en los Anexos N° 01 y N° 02, serán determinados a partir del análisis de muestras puntuales.

2.2.2. Conceptual.- El tratamiento fisicoquímico para la remoción del Cromo de los efluentes industriales, que hemos de aplicar en la presente investigación, se basa en la siguiente conceptualización:

Tratamiento fisicoquímico para los efluentes industriales.- La depuración de los efluentes líquidos es una parte fundamental de la gestión ambiental en cualquier industria. Debe ser asumida en su doble faceta de obligación medioambiental con la sociedad y de parte integrante del proceso de producción.

Bajo la denominación de tratamientos físicoquímicos de las aguas residuales no domésticas o industriales, se engloban una serie de procesos primarios y terciarios que suelen aplicar frecuentemente en las industrias. En la Tabla 4 “Componentes de un agua residual industrial que pueden ser eliminados por tratamiento fisicoquímico”, se presenta, se recoge una muestra de los posibles componentes.

**Tabla 4.
Componentes de un agua residual industrial que pueden ser eliminados por tratamiento fisicoquímico**

Componentes	Tipo de residuo	Métodos de tratamiento
-------------	-----------------	------------------------

Aceites y Grasas	Aceites minerales, vegetales y sintéticos (emulsiones).	Centrifugación, Flotación con aire, Decantación, Adsorción (rotura de la emulsión).
Ácidos	Residuos con pH<6, requieren tratamiento.	Neutralización con álcalis, cal o sosa, normalmente.
Álcalis	Residuos con pH>9, requieren tratamiento.	Neutralización con ácidos, sulfúrico o clorhídrico, normalmente.
Amonio	Como amonio libre o en forma combinada.	Arrastre con aire (stripping), previa alcalinización. Oxidación química. Incineración.
Cianuros	Complejado con metales o en forma iónica.	Oxidación química a nitrógeno, Intercambio iónico. Electrolisis.
Cromo	En forma de Cr (VI), como cromato o dicromato.	Reducción a Cr (III) y precipitación. Intercambio iónico. Ósmosis inversa. Precipitación con sales de bario.
Disolventes orgánicos	Acetona, benceno, alcohol	Arrastre con aire o vapor (stripping). Destilación con recuperación. Incineración. Adsorción para bajas concentraciones.
Fenoles	En concentraciones muy variables.	Dependientes de la concentración: >500 ppm, extracción y recuperación. 5-500 ppm, tratamiento biológico. 0-10 ppm, oxidación, Adsorción con carbón activo.
Metales en medio ácidos.	En forma de sales solubles	Neutralización y adición de cal. Intercambio iónico. Electrolisis. Ósmosis Inversa.
Metales en medio básicos.	Como complejos solubles	Precipitación del hidróxido con cal. Intercambio iónico. Electrolisis. Ósmosis inversa.
Sólidos en suspensión.	Naturaleza muy variable	Sedimentación con o sin coagulante. Flotación con aire.

Fuente: CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Una visión desde la Química – Depuración de aguas residuales, Pág. 264.

A continuación se detallan algunos de los tratamientos físicos-químicos más frecuentes, extraídos de: “CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Una visión desde la Química – Depuración de aguas residuales”, Pág. 263

a.- Homogeneización de efluentes: con el mezclado y homogeneización de los distintos efluentes generados en el proceso productivo se logra disminuir las fluctuaciones de caudal de los diferentes vertidos, consiguiendo una única corriente de caudal y concentración más constante. Se suele realizar en tanques agitados.

b.- Cribado: al igual que en el caso de las aguas residuales urbanas, esta etapa sirve para eliminar los sólidos de gran tamaño presentes en el agua residual del tipo industrial. Se suele realizar mediante rejillas, con aberturas entre 5-90mm.

c.- Neutralización: la neutralización (tratamiento ácido - base del agua residual) puede utilizarse para los siguientes fines.

- Neutralizar, en general, vertidos ácidos o básicos al pH adecuado para el tratamiento posterior al que vaya a ser sometido dicho vertido.
- Ajuste del pH entre 6.5 - 8.5, antes del tratamiento biológico, con el fin de lograr una actividad biológica óptima.
- Ajuste del pH del efluente final antes de la descarga al medio receptor, para conseguir valores del mismo entre 5.5 – 9.
- Precipitación de metales pesados, siendo ésta la aplicación más importante. En el proceso de precipitación intervienen diversos factores: producto de solubilidad del metal, pH óptimo de precipitación, concentración del metal y del agente precipitante y la presencia de agentes complejantes del metal (cianuros, amonio, por ejemplo). Los metales pesados se precipitan normalmente en forma de hidróxidos, utilizando cal hasta alcanzar el pH óptimo de precipitación (6 – 11), en función de los metales presentes.

Del tanque de neutralización (donde se ajusta el pH concreto), el agua residual pasa a un decantador o clarificador; en el que los hidróxidos metálicos sedimentan (para acelerar la sedimentación se suele añadir un agente floculante). Los lodos obtenidos se deshidratan, generalmente mediante filtros prensa, y se llevan a un depósito de seguridad, en caso de no realizarse una recuperación del metal.

d- Coagulación – floculación: para eliminar sólidos en suspensión y materia coloidal. La coagulación, como ya se vio anteriormente, implica la desestabilización de las partículas coloidales por neutralización de su carga eléctrica, y la floculación la agrupación de dichas partículas en agregados de mayor tamaño, flóculos, los cuales sedimentan por gravedad. Para favorecer la formación de flóculos más voluminosos y su sedimentación, se suelen utilizar determinados productos químicos (floculantes), generalmente de naturaleza polimérica,

que establecen puentes de unión entre los flóculos inicialmente formados.

e- Separación de fases: los métodos de separación de sustancias y especies no disueltas en el agua residual son, en general, los mismos que se estudian para la potabilización de aguas y depuración de aguas residuales urbanas, es decir: desarenado y desengrasado, decantación, flotación y filtración. Aunque el fundamento de los procesos es semejante a los ya vistos, cabe resaltar la necesidad de desarrollar, para cualquiera de estas operaciones, un diseño específico adecuado a industrias concretas. Los dos tipos de separación son:

- Separación sólido-líquido.- separación de arenas, grasas sólidas y sólidos en suspensión. Se emplean el desarenado y desengrase, sedimentación, la flotación (para sólidos de baja densidad) y la filtración. En estos procesos se utilizan los mismos tipos de aparatos ya comentados, aunque adaptados a los caudales y características específicas de los distintos efluentes.
- Separación líquido-líquido: la aplicación más frecuente es la separación de aceites y grasas. En el caso de aguas residuales industriales, el desaceitado y desengrase se puede realizar de dos maneras:
 - i. Predesaceitado: es una mera operación física que tiene lugar por gravedad, sin adición de aire ni otros reactivos. Se efectúa por flotación natural de las partículas de grasa y aceite; los principales equipos son: desaceitador simple, desaceitador circular de rasquetas, desaceitador longitudinal (separador API – American Petroleum Institute) y desaceitador de placas paralelas (separador PPI y CPI).
 - ii. Desaceitado: es una etapa de afino, para obtener un mayor rendimiento en la eliminación de aceites y grasas. Se utilizan diversas técnicas, como coagulación y la flotación por inyección de aire, aunque la más frecuente es la flotación

por aire disuelto (flotación a presión DAF), en el caso de emulsiones aceitosas, se precisa la rotura de la emulsión por adición de ácidos o álcalis y la posterior separación de fases por flotación o centrifugación.

Tabla 5. Tratamiento físico químicos o primarios empleados para aguas residuales industriales

Tratamiento	Contaminante a eliminar
Cribado	Elimina materias flotantes > 5 mm.
Homogeneización de efluentes	Neutraliza unos con otros. Caudales y concentraciones más homogéneas
Neutralización	Ácidos y bases. Precipitar metales pesados. Obtener pH apto para tratamientos biológicos.
Coagulación-floculación	Elimina coloides y aglomera partículas.
Separación de fases	Sólido-líquido: Sedimentación. Flotación. Filtración.
	Líquido-líquido: Flotación, coagulación.
	Proceso de clarificación, para eliminar materia en suspensión. Separación de grasas y aceites.

Fuente: CONTAMINACIÓN AMBIENTAL Una visión desde la Química – Depuración de aguas residuales. Pag. 266.

2.2.3. Teórico – Conceptual.- se incluye las categorías de los sistemas de tratamiento.

2.2.3.1. Sistemas de tratamiento.- Las características del agua residual determinan el sistema de tratamiento, ver Tabla 6 denominada: Operaciones, Procesos Unitarios y Sistemas de Tratamiento utilizados para eliminar la mayoría de contaminantes presentes en las Aguas Residuales, (Metcalf and Eddy, 1995).

**Tabla 6
OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS Y SISTEMAS DE TRATAMIENTO UTILIZADOS PARA ELIMINAR LA MAYORÍA DE CONTAMINANTES PRESENTES EN LAS AGUAS RESIDUALES**

Contaminante	Operación unitaria, proceso unitario o sistema de tratamiento
Sólidos en Suspensión	Desbaste y dilaceración, Desarenado, Sedimentación, Filtración, Flotación, Adición de polímeros, Coagulación/sedimentación, Sistemas naturales (tratamiento por evacuación al terreno).
Materia orgánica biodegradable	Variantes de fangos activados, películas fija: Filtros percoladores ó biodiscos (RBC), Variantes del lagunaje, Filtración intermitente en arena, sistemas físico químicos, sistemas naturales.
Compuestos orgánicos volátiles	Arrastre por aire, Tratamiento de gases, Adsorción con Carbón,
Patógenos	Cloración, Hipo cloración, Cloruro de bromo, Ozonización, Radiación U.V. Sistemas naturales
Nutrientes Nitrogenadas	Variantes de sistemas de cultivo en suspensión con nitrificación y denitrificación, Variantes de sistemas de película fija con nitrificación denitrificación, Arrastre de amoniaco, Intercambio iónico, Cloración, Sistemas naturales.

Fósforo	Adición de sales metálicas, Coagulación y sedimentación con cal, eliminación biológica del fósforo, eliminación biológica –química del P, Sistemas naturales.
Nitrógeno y fósforo	Eliminación biológica de nutrientes,
Materia orgánica refractaria	Adsorción de carbón, Ozonización terciaria, Sistema naturales.
Metales pesados	Precipitación química, Intercambio iónico, sistema de tratamiento en el terreno.
Sólidos orgánicos domésticos	Intercambio iónico, Osmosis inversas, electro diálisis.

Fuente: METCALF & EDDY – INGENIERIA DE AGUAS RESIDUALES

2.2.3.2. Sistema de Tratamiento de remoción de metales en los efluentes galvánicos.- Existen varias alternativas para el tratamiento de los efluentes galvánicos con el fin de disminuir la concentración de metales en ellas:

La precipitación como sales insolubles, es el método de tratamiento más utilizado para la eliminación de metales. Cada especie tiene un rango de pH óptimo para lograr la máxima precipitación. La formación de hidróxido cúprico el cual es insoluble, es el método más común de tratamiento para la remoción de cobre, esta sal se forma ajustando el pH del agua aproximadamente a 9. (Cortez R. 2017. Pág. 6)

La formación de sulfuros metálicos, mediante el uso de un agente reductor; con este método las concentraciones del metal en el agua pueden reducirse sustancialmente a niveles muy bajos esto debido a que la solubilidad de los sulfuros metálicos son generalmente muchos más bajas que los hidróxidos. El cobre puede precipitarse como metal de cobre insoluble mediante el uso de sulfato o sulfuro ferroso. Este método de eliminación presenta dificultades operativas tales como lodos menos sedimentables y la necesidad de controlar la adición de productos químicos. (Cortez R. 2017. Pág. 6)

El intercambio iónico, es otro método que puede usarse para remover metales del agua, para eliminar cobre normalmente se usa una resina catiónica base débil en la forma sódica, pero el capital

necesario es muy elevado al igual que el costo de operación. (Rahkama R. 2014, pág. 2)

La Adsorción, es una tecnología de separación utilizada para eliminar y recuperar ciertos compuestos inorgánicos de corrientes acuosas, la cual se refiere a la remoción o reducción de concentración de un adsorbato (átomo, ion o molécula) mediante la interacción con un adsorbente en cuya interfaz se produce la acumulación del adsorbato por adhesión física o enlace de iones. En procesos industriales la adsorción con carbón activado constituye una alternativa en el tratamiento de efluentes con metales pesados; pero la desventaja de este método es el costo asociado y la disposición final del carbón cuando ya se encuentra desgastado. (Pamukoglu Y. 2008, pág. 4)

La Bioadsorción, la bioadsorción hace referencia al sistema en el cual el adsorbente es un material biológico o ciertos microorganismos denominados bioadsorbentes, los cuales son capaces de retener compuestos inorgánicos a partir de soluciones acuosas, muchas veces de forma selectiva. Las reacciones de bioadsorción son independientes del metabolismo del microorganismo (biomasa) y se desarrollan por diversos mecanismos, de hecho es sabido que en sistemas naturales se dan diversas formas de adsorción en la misma especie sólida.

La bioadsorción de metales pesados por organismos y microorganismos es una alternativa prometedora con un gran potencial para aplicaciones industriales, y remediación ambiental. El proceso puede desarrollarse con biomasa viva o muerta, siendo esta última la más viable ya que no requiere ambientes estériles y condiciones especiales que limiten la aplicación en el proceso. (The Royal Society of Chemistry, 2013 pág. 80)

Electrocoagulación, un proceso electroquímico muy utilizado en el tratamiento de aguas residuales, por medio del cual se desestabilizan las partículas de contaminantes que se encuentran

suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, en los que el hierro y el aluminio son los más utilizados (Arango, 2005).

En el proceso de electrocoagulación hay generación de coagulantes in situ por la disolución de iones de aluminio o de hierro de los electrodos de aluminio o hierro respectivamente. La generación de iones metálicos tienen lugar en el ánodo y en el cátodo hay liberación de burbujas de hidrógeno gaseoso las cuales ayudan a la flotación de las partículas floculadas, las mismas que serán retiradas posteriormente (Arango, 2005).

2.3. Definición de términos básicos.-

2.3.1. Parámetros de control para el tratamiento de aguas residuales.- Los parámetros de control son los fundamentales para determinar el diseño del sistema de depuración de las aguas residuales urbanas pueden reducirse a, (M. Baca N. 2012):

2.3.1.1. Partículas en Suspensión, Sólidos Totales.- Es el contenido total de la materia sólida en el agua, comprendiendo tanto materia orgánica como inorgánica, estos sólidos pueden encontrarse como: Sólidos Disueltos, Sólidos en Suspensión, Sólidos Sedimentables y Sólidos no Sedimentables.

2.3.1.2. Contenido de microorganismos.- Estos pueden ser benignos o patógenos y se clasifican en, (M. Baca N. 2018, p. 47):

- **Aerobios.-** Que constituye el 60 al 65 % de los microorganismos existentes en el agua residual, caracterizándose por captar en forma directa el oxígeno disuelto.
- **Anaerobios.-** Que constituye del 10 al 25% de los microorganismos existentes en el agua residual, obtiene oxígeno por descomposición de la materia orgánica constituida por tres o más elementos (C, H, O, N, S, P, K).
- **Facultativos.-** que constituyen del 10 al 30 %, estos pueden adaptarse a condiciones aerobias y anaerobias.

2.3.1.3. Contenido Orgánico.- Específicamente esta descrita por la Materia Oxidable Biológicamente, materias de tipo orgánico que absorben en forma natural hasta su desmineralización una cierta cantidad de oxígeno, debido a los procesos químicos o biológicos de oxidación que se producen en el seno del agua, (M. Baca N. 2018, p. 47).

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).**- Es una medida indirecta de la materia orgánica en ambientes acuáticos. Es la cantidad de O₂ disuelto necesario para la oxidación microbiana de la materia orgánica biodegradable, (Prescott, Harley y Klein 2008, p. 1055).

Es la cantidad de O₂ consumida por el agua residual durante la oxidación (vía biológica) de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual. Para el control de los procesos de depuración suele adoptarse la DBO₅ a los 5 días y a 20 °C (DBO₅), cuyo valor se aproxima al valor asintótico de la DBO₅ correspondiente al ciclo del carbono. Para determinar este parámetro es necesario que el agua se encuentre a un pH entre 6,50 y 8,30, (M. Baca N. 2018, p. 47).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO).**- Es la cantidad de oxígeno disuelto consumida por el agua residual (por vía química) provocada por un agente químico, fuertemente oxidante. La oxidación es activa sobre las sales minerales oxidables así como sobre la materia orgánica biodegradable, que existe en el agua analizada. La relación encontrada entre la DBO₅ y la DQO indicará la importancia de los vertidos industriales y sus posibilidades de biodegradabilidad, (M. Baca N. 2018, p. 47 - 48).

- **Oxígeno Disuelto (OD).**- “La cantidad de oxígeno disuelto determina sus condiciones aerobias, microceacerófilas, anóxicas y anaerobias para los procesos biológicos. Los desagües crudos generalmente tienen bajas concentraciones de OD, mientras que los desagües sépticos son anaeróbicos; para los procesos de denitrificación es necesario un ambiente anóxico, es decir no

necesariamente anaeróbico estricto, mientras que en los tanques de aireación de lodos activados y lagunas aireadas, es necesaria la incorporación de oxígeno por algún medio apropiado” (C. Lazcano, 2014, p.359).

2.3.1.4. Potencial de Hidrogeno (pH).- En la naturaleza, así como en los vertidos urbanos se encuentran ácidos y bases que modifican ampliamente el pH de las aguas. Las aguas urbanas tienen un pH próximo al valor de 7, es decir son adecuadas para los microorganismos neutrófilos. Es necesario controlar el pH para garantizar los procesos biológicos, debiendo encontrarse entre valores de 6,2 y 8,3 para que no se generen problemas de inhibición, (M. Baca N. 2018, p. 49).

2.3.1.5. Aceites y grasas.- Las grasas generan problemas por su poder tensó activo que impiden la captación del oxígeno, o genera una película envolvente en los floculos biológicos impidiendo su respiración, aligerándolos y llevándolos a flotación, dificultándose así la decantación secundaria, (M. Baca N. 2018, p. 49).

Los residuos contaminantes presentes en los efluentes líquidos descargados provenientes de la industria galvánica, está constituida de los sólidos generados y vapores emitidos a la atmósfera afectan al medio circundante así como la salud de las personas. En general cada empresa emite sustancias o elementos de acuerdo con la materia prima utilizada, que está en concordancia con los productos comercializados. Los efectos producidos abarcan desde el deterioro de los sistemas de recolección de aguas servidas, el deterioro de sistemas de tratamientos microbiológicos, inhibiendo el desarrollo microbiano, hasta el efecto en la salud de los trabajadores expuestos y la población en general, ver en la Tabla 5 “Relación de los residuos y su origen”, en la Tabla 6 los “Efectos de los contaminantes sobre

las aguas superficiales” y en la Tabla 7 los “Efectos de ciertos contaminantes sobre la salud”.

**Tabla 5
COMPOSICION TIPICA DEL AGUA RESIDUAL DOMESTICA**

Residuo	Corriente	Proceso
Álcalis corrosivo	Residuo líquido	Limpieza y electrodeposición
Ácidos nítrico, sulfúrico, clorhídrico, fluorhídrico.	Residuo líquido	Limpieza
Detergentes	Residuo líquido	Limpieza
Aceites y grasas Tóxicos	Residuo líquidos Solvente agitado	Limpieza
Cianuros Tóxicos	Baño de recubrimiento, agua de lavado, otras aguas, lodos	Electrodeposición remoción, Tratamiento calorífico, desmanchado.
Cromatos Tóxico	Baño de recubrimiento. Agua de lavado, lodos, otros	Electrodeposición, cromato, recubrimiento.
Emisiones de vapores Ácidos y alcalinos Toxico	Atmósfera de trabajo	Desengrase, baños de cobre, niquelado y cromado
Partículas de pintura y de polvo Tóxico	Atmosfera de trabajo	Pintura, preparación mecánica de piezas.

Fuente: FUNDES, 1999

**Tabla 6
Efectos de los contaminantes sobre las aguas superficiales**

Parámetro	Efecto
------------------	---------------

pH	Efectos sobre las aguas destinadas a consumo humano, bebida animal, riego, estética y vida
Temperatura	Las altas temperaturas desfavorecen la dilución del oxígeno en la masa de agua, alterando el desarrollo de la vida acuática.
Sólidos suspendidos,	Se produce acumulación de sedimentos que ocasionan embaucamiento y depósitos de terrenos.
Aceite y grasas	Efectos sobre la absorción de oxígeno atmosférico en el agua, afectando los procesos de fotosíntesis de algas, plantas y organismos acuáticos en general.
Metales pesados y tóxicos	Interfieren en los procesos naturales de auto depuración biológica de cuerpos receptores.
Detergentes	Interfieren en los procesos de absorción de oxígeno, creando ambientes anaeróbicos.

Fuente: FUNDES, 1999

El Ministerio del Medio Ambiente reglamenta el cumplimiento de los estándares permitidos para todo vertimiento de residuos líquidos a la red de alcantarillado público y/o cuerpo de agua. Las opciones de prevención de la contaminación dentro del marco de la gestión ambiental de una empresa se pueden jerarquizar según el grado de facilidad de implementación y los costos asociados. Así, la más alta prioridad se le asigna a la prevención de la contaminación a través de las buenas prácticas, la reducción en la fuente y el reciclaje.

**Tabla 7
EFECTOS DE CIERTOS CONTAMINANTES SOBRE LA SALUD**

Parámetro	Efecto de inhalación	Efecto de su ingestión
Cadmio	Perturbación aguda y crónica en el sistema respiratorio. Difusión renal	Tumores testiculares. Difusión renal, Hipertensión. Arteriosclerosis, Inhibición del crecimiento. Cáncer.
Cromo	Cáncer Pulmonar, Cáncer gastrointestinal, enfermedades de la piel.	Cáncer pulmonar. Ulceras. Perforaciones en tabique nasal. Complicaciones respiratorias.
Plomo	Interferencia en el proceso de formación de elementos sanguíneos Daños al hígado y riñón, Efectos neurológico	Afecciones a la piel Anemia Disfunción neurológica, Daños al riñón
Níquel	Enfermedad respiratoria Defectos y malformaciones en el nacimiento Cáncer pulmonar, Cáncer nasal	
Cianuro	Daños sistema respiratorio Letal	Daños sistema respiratorio Letal

Fuente: KIRK, 1962.

2.4. Normas Legales.- El reúso de aguas residuales deberá garantizar el nivel adecuado de tratamiento en función al uso específico, a fin de no generar riesgos en la salud de la población que tenga contacto con las

zonas irrigadas con el agua residual tratada. Para determinar el sistema de tratamiento de aguas residuales para fines de aprovechamiento se debe plantear la calidad del tipo del efluente que se requiere de acuerdo:

2.4.1. Constitución Política del Perú (29 Diciembre de 1993).- La constitución en su Capítulo II del Ambiente y los Recursos Naturales, señala:

Art. 2º.- Toda persona tiene derecho a la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

Art. 66º.- Los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonios de la Nación. El Estado es soberano en su aprovechamiento.

Art. 67º El estado determina la política nacional del ambiente.

2.4.2. Ley Nº 28611, Ley General del Ambiente (13 de Octubre del 2005).-

Art. 1º.- La presente Ley es la norma ordenadora del marco normativo legal para la gestión ambiental en el Perú. 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 del 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.

Art. 5º.- La gestión del ambiente y de sus componentes, así como el ejercicio y la protección de los derechos que establece la presente ley, se sustentan en la integración equilibrada de los aspectos sociales, ambientales y económicos del desarrollo nacional, así como en la satisfacción de las necesidades de las actuales y futuras generaciones.

2.4.3. D.L. Nº 1055, Decreto Legislativo que modifica la Ley Nº 28611, Ley General del Ambiente.-

Art. 1º.- Modifíquense los artículos 32º, 42º, 43º y 51º de la Ley Nº 28611, Ley General del Ambiente, en los siguientes términos:

Art. 32º.- Del Límite Máximo Permisible, El Límite Máximo Permisible – LMP, es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio.

2.4.4. Decreto Supremo N° 021 – 2009 – VIVIENDA, de fecha 20 de noviembre de 2009, que aprueba los Valores Máximo Admisibles de los componentes de los Efluente no domésticos para ser vertido al sistema de alcantarillado, en su Anexo N° 02 se especifica los VMA para cada parámetro.

2.4.5. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias (7 de junio 2017).- Disposición Complementaria Derogatoria.

Única.- Derogación de normas referidas a Estándares de Calidad Ambiental para Agua. Derogase el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM. El Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

2.4.6. R.M. N° 026-ITINCI/DM Protocolo de Monitoreo de Efluentes Líquidos y Emisiones Atmosféricas. (23/02/2000).- La respectiva resolución ministerial contiene las pautas necesarias para la ejecución del monitoreo, procesamiento de los datos y elaboración de informes de monitoreo ambiental.

III. HIPOTESIS Y VARIABLE

3.1. Hipótesis.-

“El tratamiento fisicoquímico de los efluentes provenientes de una industria galvánica permitirá la reducción del Cromo y otros componentes que cumplan los Valores Máximo Admisibles de Calidad para ser dispuestos al alcantarillado”.

3.2. Definición conceptual de las variables.-

3.2.1. Variable independiente.- “Tratamiento fisicoquímico”, por medio del cual se desestabilizan las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, el tratamiento combina la captación, desbaste, aireación y finalmente la coagulación, floculación y sedimentación.

3.2.2. Variable dependiente.- “Reducción del Cromo y otros componentes que cumplan con los Valores Máximos Admisibles de Calidad”.

3.3. Operacionalización de las variables.- Para demostrar y comprobar la hipótesis anteriormente formulada, la operacionalizamos, determinando las variables y los indicadores que a continuación se mencionan:

3.3.1. Indicadores operacionales de la variable independiente.- Tratamiento fisicoquímico:

- | | |
|-------------------------------|----------------|
| ○ Volumen (Jarras de 1 litro) | X ₁ |
| ○ Gradiente de Mezcla Rápida | X ₂ |
| ○ Tiempo de Mezcla Rápida | X ₃ |
| ○ Gradiente de Floculación | X ₄ |
| ○ Tiempo de Floculación | X ₅ |
| ○ Tiempo de Sedimentación | X ₆ |

3.3.2. Indicadores operacionales de la variable dependiente.- Reducción del Cromo y otros componentes que cumplan con los Valores Máximos Admisibles de Calidad:

- | | |
|------------------------------------|----------------|
| ○ Potencial Hidrogeno (pH) | Y ₁ |
| ○ Demanda Química de Oxígeno (DQO) | Y ₂ |

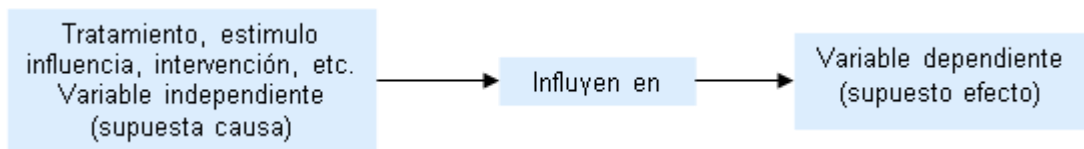
○ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	Y ₃
○ Aceites y Grasas.	Y ₄
○ Sólidos totales	Y ₅
○ Turbiedad	Y ₇
○ Cromo (VI)	Y ₈
○ Cromo (III)	Y ₉
○ Otros metales	Y ₁₀

3.4. Definiciones operacionales de la variable.-

- Potencial Hidrogeno (pH).- Grado de acidez o alcalinidad que posee el agua y que depende de la concentración de iones de hidrogeno presentes. (Lazcano, C. 2014)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO).- Es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar el carbono orgánico completamente a CO₂, H₂O y amonio. (Lazcano, C. 2014).
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).- Se define como la cantidad de oxígeno disuelto consumida por los microorganismos para la oxidación de la materia orgánica (carbonácea e inorgánica). (Lazcano, C. 2014).
- Aceites y grasas.- constituyen los Lípidos presentes en las aguas en proporción del 10% de los componentes orgánicos. Se les considera como componentes indeseables, debido a que inhiben el crecimiento de los microorganismos. (Lazcano, C. 2014).
- Sólidos totales.- se definen como los residuos que quedan después de que la muestra ha sido evaporada y secada a 105 °C durante 24 horas al calor seco. (Lazcano, C. 2014).
- Turbiedad.- Es el contenido de materia en suspensión, se juzga parcialmente mediante la determinación de la turbiedad, al impedir estas el paso de la luz, al perderse transparencia, se mide en: Nephelometric Turbidity Unit (NTU). (Manual Degremont, 1979).
- Cromo, en su forma Cromo (VI) y Cromo (III).- se refiere a la concentración que se encuentra en el efluente antes y después del tratamiento fisicoquímico.

IV. DISEÑO METODOLÓGICO.-

4.1. Tipo y diseño de la investigación.- SAMPIERE (2006) los experimentos manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominadas variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables (las dependientes) en una situación de control, como lo apreciamos en la figura:



Para el desarrollo del trabajo de Investigación, como se ha especificado se simulara el tratamiento fisicoquímico, para ello se utilizara el equipo de Pruebas de Jarras (PJ), con el cual se someterán volúmenes de muestra de un efluente proveniente de industria galvánica, en este, se mantendrá los Indicadores de la Variable Independiente fijos, es decir bajo un protocolo de pruebas, que permitan determinar las dosis optima de reactivos Neutralizantes, coagulantes y floculantes, y como resultado de ello se evaluara determinando los valores de los indicadores de la Variable Dependiente (caracterización del efluente tratado para su disposición final en el alcantarillado sanitario, comparando estos con los VMA de la norma vigente.

Existen muy diversos tratados sobre las tipologías de la investigación, las controversias para aceptar las diferentes tipologías sugieren situaciones confusas en estilos, formas, enfoques y modalidades. En rigor, y desde un punto de vista semántico, los tipos son sistemas definidos para obtener el conocimiento. Algunos autores establecen diversas tipologías, una síntesis de los tipos mostrados por diferentes autores se presentan, con la intención de sistematizar y especificar el tipo de nuestro trabajo de Investigación:

Según las variables:

Experimental.

Cuasi experimental.

Simple y compleja.

Según la fuente de información:

Investigación documental.

Investigación de Campo.

- Según la extensión del estudio: Investigación censal.
Investigación de caso.
Encuesta
- Según el nivel de medición y análisis de la información:
Investigación cuantitativa.
Investigación cualitativa.
Investigación cuali-cuantitativa.
Investigación descriptiva.
Investigación explicativa.
- Según las técnicas de obtención de datos:
Investigación de alta y baja estructuración.
Investigación participante.
Investigación participativa.
Investigación proyectiva.
Investigación de alta o baja interferencia.
- Según su ubicación temporal: Investigación histórica.
Investigación longitudinal o transversal
Investigación dinámica o estática.
- Según el objeto de estudio: Investigación pura.
Investigación aplicada.

Una vez que precisámos el planteamiento del problema, se definió el alcance inicial de nuestra investigación, formulando la hipótesis, procedimos a diseñar nuestra investigación, que nos permita demostrar la hipótesis planteada, además de cubrir los objetivos específicos fijados:

- Caracterizar el efluente industrial previos a su tratamiento.
- Evaluación a nivel de laboratorio con pruebas de Jarras (simulación del tratamiento fisicoquímico), con muestras industriales con contenido de cromo.
- Determinar la eficacia de la remoción del cromo.
- Determinar parámetros hidráulicos para el diseño del sistema de tratamiento.
- Diseñar el sistema de tratamiento para un determinado caudal de tratamiento.

En síntesis nuestra investigación del Tipo Experimental dentro de esta tipología que para algunos autores como el caso de Cambell y Stanley (1966), quienes dividen los diseños experimentales en tres clases:

- a) preexperimentos,
- b) experimentos “puros”, y
- c) cuasi experimentos.

Teniendo como referencia esta clasificación, nuestro trabajo de investigación se encuadra dentro del diseño preexperimental, con preprueba – posprueba, el mismo se efectuara con el uso del equipo de Pruebas de Jarras, en la que a un grupo se le aplica una prueba previa al estímulo (tratamiento experimental), después se le administra el tratamiento y finalmente se le aplica una prueba posterior al estímulo, según el esquema siguiente:

G 0₁ X 0₂

En este diseño conoceremos un punto de referencia inicial (**0₁**) para ver el nivel que tiene el grupo (**G**) en la variable dependiente ante del estímulo o tratamiento (**X**) y posteriormente que nivel (**0₂**) alcanzara luego del tratamiento.

4.2. Método de investigación.- El presente proyecto de investigación se centra en la adecuación de los efluentes no domésticos, provenientes de una industria galvánica, con el fin de que se puedan descargar al alcantarillado sanitario como punto de disposición final, para ello se hace necesario, determinar la población o universos del efluente, utilización de las técnicas analíticas de los Métodos Normalizados para análisis de agua no doméstica o residual, diseñar el Sistema de Tratamiento fisicoquímico, caracterizar los efluentes tratados, utilización de técnicas estadísticas y pruebas de hipótesis.

4.3. Población y muestra.- La Población o Universo (**N**) del presente trabajo de investigación, son los efluentes no domésticos generados en la una determinada industria que utilice procesos galvánicos, y que serán tratados para su disposición final al sistema de alcantarillado sanitario, a partir de Muestras extraídas en el interior de la fábrica o industria galvánica (**M**) para determinar su caracterización, siguiendo los procedimientos protocolares diseñados para este tipo de muestreo, las técnicas que se utilizaran para evaluar los parámetros Físico – Químicos, Biológicos son las guías de calidad de Aguas y que se basan en las establecidas por la OMS/OPS. Para determinar los parámetros de calidad se utilizaran, los Métodos Normalizados por el INDECOPI, basados en los Métodos Normalizados para Análisis de Aguas Potables y Residuales publicados por APHA, AWWA y WPCF (Standard Methods for the Examination of Water and Wastes 17 edition).

4.4. Lugar del estudio.- Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales que se ubica en la Ciudad Universitaria del Callao.

4.5. Técnicas e instrumento de recolección de datos.- Con la información de la caracterización del efluente no doméstico o industrial, se someterán a pruebas de jarras (PJ) y con ella se determinaran los reactivos que permitan que el efluente y tratado alcance los Valores Máximos Admisibles de sus componentes residuales. Posteriormente se seleccionaran los parámetros para el diseño de la unidad o sistema de tratamiento, que ha de ser la propuesta para el tratamiento de este tipo de efluente, por lo que las fases siguientes a la caracterización han de ser, las mismas que se presentan en el plan de trabajo en forma secuencial.

4.6. Plan de trabajo.-

4.6.1. Caracterización del efluente no doméstico proveniente de una industria galvánica.

4.6.2. Evaluación a nivel de laboratorio con pruebas de Jarras (simulación del tratamiento fisicoquímico), con muestras de efluentes de una industria galvánica.

4.6.3. Caracterizar los efluentes tratados mediante las PJ.- En su etapa experimental se requerirá recolectar datos de los efluentes, lo que permitiría demostrar la hipótesis planteada, esta recolección de datos a partir de la evaluación de los valores de los indicadores de la variable dependiente. De modo que al conocer los valores de estos indicadores y compáralos con los valores precisados a través del DS N° 021-2009-VIVIENDA, de modo que se demostraría el cumplimiento de la Hipótesis.

4.6.4. Determinar la eficacia de la remoción del cromo y otros parámetros.

4.6.5. Diseñar el sistema de tratamiento para un determinado caudal de tratamiento.

4.7. Análisis y procedimientos de datos.- El muestreo de los efluentes se realizara en el mismo desagüe de fábrica seleccionada, las que serán trasladados al laboratorio de la FIARN, para someterlas a la PJ.

A partir de las observaciones obtenidas y tabuladas se aplicaran técnicas estadísticas inductivas que permita obtener conclusiones a partir del uso de los programas Excel o SPSS.

Se elaborara la prueba de Hipótesis, Significancia o Regla de decisión que nos permitan determinar si las muestras observadas difieren significativamente de los resultados esperados.

V. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividades	Número de Meses																	
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18
a. Revisión de fuentes bibliográficas																		
b. Reconocimiento de la zona y definición del área de estudio, recopilación de información y facilidades existente.	■	■	■															
c. Determinar los puntos de Monitoreo de las aguas residuales no domésticas. Monitorear los puntos de descarga	■	■	■															
d. Caracterizar los efluentes no domésticos a partir de muestras monitoreadas.			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■						
e. Tratamiento fisicoquímico (PJ) de las muestras (puntuales y/o compuestas) de efluentes monitoreados.			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■						
f. Caracterización de la muestra de efluentes tratados en las PJ.			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■						
g. Determinación de la eficiencia de remoción de parámetros dentro de los VMA.			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■						
h. Determinación de parámetros hidráulicos para el diseño de la planta de tratamiento.					■	■	■	■	■	■	■	■						
g. Diseño del sistema para el tratamiento fisicoquímico.												■	■	■	■	■	■	■
g. Elaboración de informes parciales			01			02			03			04			05			06
h. Elaboración del Informe Final (IF)																		IF
i. Elaboración de paper																		

VI. PRESUPUESTO

Item	Rubro	Porcentaje %	Monto S/.	Monto \$
A	Materiales de Consumo	40.00	13,200.00	4,000.00
	a.1. Material, equipo de muestreo y Aforo	8.74	2,884.20	874.00
	a.2. Materiales y Servicios de análisis	21.52	7,101.60	2,152.00
	a.3. Adquisición de copias de libros y CDs	3.74	1,234.20	374.00
	a.4. Materiales de Oficina y equipo de Computación	6.00	1,980.00	600.00
B	Gastos de Transporte	40.00	13,200.00	4,000.00
	b.1. Alquiler de camioneta para el transporte de muestras, antes y después del tratamiento para su análisis.	23.70	7821.00	2 370.00
	b.2. Gastos de operación del sistema de tratamiento (Equipo de Jarras)	8.80	2904.00	880.00
	b.3. Imprevistos	7.50	2475.0	750.00
C	Viáticos	20.00	6,600.00	2000.00
	c.1. Alimentos y pasajes	20.00	6,600.00	2000.00
	TOTAL GENERAL	100.00	33,000.00	10,000.00

Nota 1\$ = S/. 3.30

Costos por publicación del paper en una revista indexada aproximadamente \$1200.00 dólares USA.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acosta et al. (2009). **Identificación del Manejo de Metales de Vertimientos de la Industria Galvánica**. Gestión Integral en Ingeniería Neogranadina, 1(1): 1-11, diciembre 2009.
- AHALYA et al. (2014), citado por: RAHKAMA Réka, Hajdu. **Bioremediation of Heavy Metals by Using the Microalga *Desmodesmus Subspicatus***. Bachelor's Thesis. Bio and Environmental Engineering. Ostfalia University of Applied Sciences. Supply Engineering. Ostfalia. p.2.
- APHA, AWWA & WPCF, (2005); Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. Centennial Edition. USA.

- Baca Neglia M. F., (2015); **El uso del tratamiento físico-químico para la depuración del efluente generado en una industria de pinturas y de barnices previos a su disposición final, ubicada en el distrito de Carabaylo – Lima.** Trabajo de Investigación – FIARN - Universidad Nacional del Callao.
- Baca Neglia M. F., (2018); **Sistema de tratamiento compacto de efluentes domésticos para reúso en el riego de áreas verdes y jardines.** Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Ambiental.
- Cortez Rosero L. E., (2017), **Determinación de la capacidad de remoción de cobre en aguas residuales de la Industria Galvánica a través de las Acción del Micelio *Pleurostus sajorcaju*.** Tesis para optar el Título de Ingeniera Químico, Universidad Central del Ecuador, Quito-Ecuador
- Chang, R. (2007). **Química.** Mexico: Mc Graw Hill.
- G. Salas Carlotta, (2005); **“Reúso de cromo en el tratamiento de Efluentes de una curtiembre”**, Revista Peruana Químia, Ingeniería Químia, Vol. N° 2, 2005. Páginas 61 - 67.
- G. Espinosa Narváez & G. Mera Córdoba, (2015), **Alternativas ambientales para la remoción de cromo hexavalente en residuos líquidos de los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño.** Tesis de Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Manizales – Colombia.
- Hernández Muñoz y Hernández Lehman, (1995); **Manual de Depuración Uralita;** Ed. Paraninfo S.A., 1ª Edición, Madrid.
- Prescott, Harley y Klein, (2008); **Microbiología.** Editorial Mc Graw Hill de España, séptima edición.
- Lazcano Carreño C., (2014); **Biotecnología ambiental de aguas y aguas residuales.** 1º Ed. Fondo Editorial de la UNMSM.
- The Royal Socite of Chemistry. (2013). **Element Recovery and Sustainability.** Editado por Andrew Hunt, New York 2013. p .80.

- Metcalf & Eddy; (1995); **Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización**, 3ª Ed. Mc. Graw Hill. España, Vol 1 y 2.
- Orozco Barrenechea C. et. al. (2004); **Contaminación Ambiental – Una visión desde la Química**; Ed. Thomson, España.
- Osborne Ken. (2008) **VIII Metals G electroplating**. Fecha de consulta 30 enero 2019]. Disponible en:
< <http://nzic.org.nz/ChemProcesses/metals/8G.pdf> >
- Pamukoglu Yunus. (2008). **Removal of Heavy Metals from Wastewater by Biosorption Using Excess Sludge**. Doctor Thesis. Doctor of Philosophy in Environmental Engineering. Dokuz Eylül University. School of Natural and Applied Sciences. İzmir. Turkey. p.4.
- Varsha, Y M, Naga Deepthi CH, Chenna S. (2011). **An emphasis on xenobiotic degradation in environmental clean up**. Journal Bioremed Biodegrad S, 11(1): 1-10, 2011.

Dr. Ing. MÁXIMO FIDEL BACA NEGLIA
Código 1233

ANEXOS

Matriz de Consistencia.-

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN						
SISTEMA DE TRATAMIENTO FISICOQUIMICO PARA LA REMOCION DEL CROMO EN EFLUENTES INDUSTRIALES PARA SU DISPOSICIÓN FINAL						
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES			MÉTODO A EMPLEAR
			VARIABLE	INDICADORES	INDICE	
¿En qué medida es posible reducir el Cromo presente en un efluente industrial a través del tratamiento fisicoquímico, de modo que cumpla con la normatividad vigente previo a su disposición final?	<p>Objetivo General.- Simular y evaluar a nivel de laboratorio el sistema de tratamiento fisicoquímico para los efluentes industriales con presencia de cromo para su disposición final.</p> <p>Objetivos Específicos.- 1. Caracterizar el efluente industrial previos a su tratamiento. 2. Evaluación a nivel de laboratorio con pruebas de Jarras (simulación del tratamiento fisicoquímico), con muestras industriales con contenido de cromo. 3. Determinar la eficacia de la remoción del cromo y de otros parámetros. 4. Determinar parámetros hidráulicos para el diseño del sistema de tratamiento. 5. Diseñar el sistema de tratamiento para un determinado caudal de tratamiento.</p>	El tratamiento fisicoquímico de los efluentes provenientes de una industria galvánica permitirá la reducción del Cromo y otros componentes que cumplan los Valores Máximo Admisibles de Calidad para ser dispuestos al alcantarillado	<p>Independiente X: Tratamiento fisicoquímico</p> <p>Dependiente Y: Reducción del Cromo y otros componentes que cumplan con los Valores Máximos Admisibles de Calidad</p>	<p>X1: Volumen de jarra X2: Gradiente de MR X3: Tiempo de MR X4: Gradiente de ML X5: Tiempo de ML X6: Tiempo de Sedimentación</p> <p>Y1: Potencial hidrogeno (pH) Y2: Demanda Química de Oxigeno (DQO) Y3: Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO₅) Y4: Aceites y grasas. Y5: Sólidos totales Y6: Turbiedad Y7: Cromo (VI) Y8: Cromo (III) Y9: Otros metales</p>	<p>X₁ = 1 L X₂ = 100 S⁻¹ X₃ = 100 seg. X₄ = 30 S⁻¹ X₅ = 15 min. X₆ = 1 min.</p> <p>Y₁: 6.0–9.0 unid Y₂: 1000 mg/L Y₃: 500 mg/L Y₄: 100 mg/L Y₅: 500 mg/L Y₆: no registra Y₇: 0.5 mg/L Y₈: 9.5 mg/L Y₉: Z mg/L</p>	<p>Parámetros del protocolo durante la puesta en operación del sistema PJ</p> <p>4550-H B - SMWW 5220 B - SMWW 5210 B - SMWW 503 A - SMWW 2540 D - SMWW 2130 B - SMWW 3500-Cr D - SMWW 3500-Cr - SMWW 3500-X - SMWW Donde X es el Metal</p> <p>Investigación: Experimental Tipo: Aplicada Diseño: G 0₁ X 0₂</p>

Nota: En el que **G** representa el grupo de muestra de efluente doméstico, (**0₁**), es el valor referencial inicial del indicador (variable dependiente), antes del estímulo o tratamiento, a través del sistema de tratamiento compacto **X** (la variable independiente), y posteriormente (**0₂**) el nivel que alcanzo luego del tratamiento.

Código Plan Nacional CTI: 0302.0008 (Adaptación y desarrollo de tecnologías para la recuperación de fuentes de agua afectadas por contaminación),

Código UNESCO: 3308.10 (Tecnología de Aguas Residuales).

Plan de Trabajo Anual

Actividades	Número de Meses																	
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1. Sesiones ordinarias, una vez cada mes																		
2. Sesiones extraordinarias																		
3. Elabora, diseñar y ejecutar proyectos del CI																		
4. Elaborar proyectos para participar en fondos concursables																		
5. Presentación de Informes trimestrales																		
6. Plan de trabajo del Proyecto a desarrollar																		
6.1. Revisión de fuentes bibliográfica																		
6.2. Reconocimiento de la zona y definición del área de estudio, recopilación de información y facilidades existente																		
6.3. Determinar los puntos de Monitoreo de las aguas residuales no domésticas. Monitorear los puntos de descarga																		
6.4. Caracterizar los efluentes no domésticos a partir de muestras monitoreadas.																		
6.5. Tratamiento fisicoquímico (PJ) de las muestras (puntuales y/o compuestas) de efluentes monitoreados.																		
6.6. Caracterización de las muestra de efluentes tratados en las PJ.																		
6.7. Determinación de la eficiencia de remoción de parámetros dentro de los VMA.																		
6.8. Determinación de parámetros hidráulicos para el diseño dela planta de tratamiento.																		
6.9. Diseño del sistema para el tratamiento fisicoquímico.																		
6.10. Elaboración de informes parciales/trimestre																		
6.11. Elaboración del Informe Final (IF)																		
6.12. Elaboración de paper																		
7. Plan de trabajo para nuevo proyecto																		

Nota: Se ha desarrollado el cronograma para un periodo de 18 meses, teniendo en cuenta el periodo asignado al Proyecto de Investigación: **SISTEMA DE TRATAMIENTO FISICOQUIMICO PARA LA REMOCION DEL CROMO EN EFLUENTES INDUSTRIALES PARA SU DISPOSICIÓN FINAL**