

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN



CENTRO DE INVESTIGACIÓN:

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

INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“SISTEMA DE TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO PARA
LA REMOCIÓN DEL CROMO EN EFLUENTES
INDUSTRIALES PARA SU DISPOSICIÓN FINAL”**

Autor: Dr. Máximo Fidel Baca Neglia - Código 1233

**PERIODO DE EJECUCIÓN: Del 01 de Enero de 2019
al 30 de Junio de 2020**

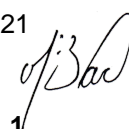
Resolución de aprobación N° 101-2019-R-Callao 05.02.2019

Callao, Junio de 2020

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Baca'.

INDICE

	Pág.
INDICE	001
RESUMEM	005
ABSTRAC	006
INTRODUCCION	007
Importancia	008
Justificación	008
Justificación ambiental	009
Justificación económica	008
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	011
1.1. Descripción de la realidad problemática.	011
1.2. Formulación del problema.	013
1.3. Objetivos	013
1.3.1. Objetivo general	013
1.3.2. Objetivos específicos	013
1.4. Limitantes de la investigación	013
1.4.1. Limitante teórica	013
1.4.2. Limitante temporal	014
1.4.3. Limitante espacial	014
1.5. Alcances de la investigación	015
II. MARCO TEORICO	017
2.1. Antecedentes	017
2.1.1. Antecedentes nacionales	017
i. G. Salas Carlotta, 2005, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, paper: "Reúso de cromo en el tratamiento de Efluentes de una curtiembre".	017
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 acomplejantes de cromo; publicado en la Revista de la Sociedad Química del Perú, Vol 80, N° 3, julio/set 2014".	017
2.1.2. Antecedentes internacionales	018
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	018
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 (<i>Litchi chinensis Soon</i>)".	019
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"	021
2.2. Marco	021
2.2.1. Teórico	021



a)	Los efluentes	022
b)	Aguas residuales no domésticas	022
c)	Calidad de efluentes no domésticos provenientes de la industria Galvánica	022
d)	Compuestos Xenobióticos y recalcitrantes	024
e)	Normatividad ambiental vigente	024
2.2.2.	Conceptual	025
i.	Homogeneización de efluentes	026
ii.	Cribado	027
iii.	Neutralización	027
iv.	Coagulación - floculación	028
v.	Separación de fases	028
2.2.3.	Teórico - Conceptual	029
a)	Sistema de tratamiento	029
b)	Sistema de tratamiento de remoción de metales en los efluentes galvánicos	030
2.3.	Definición de términos básicos	032
2.3.1.	Parámetros de control para el tratamiento de aguas residuales.	032
2.4.	Normas legales	037
2.4.1.	Constitución Política del Perú (29 de diciembre de 1993)	037
2.4.2.	Ley N° 28611, Ley General del Ambiente (13 de octubre del 2005)	037
2.4.3.	D.L. N° 1055, Decreto Legislativo que modifica la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente	038
2.4.4.	Decreto Supremo N° 021 – 2009 - VIVIENDA	038
2.4.5.	Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM	038
2.4.6.	R.M. N° 026-ITINCI/DM Protocolo de monitoreo de efluentes líquidos y emisiones atmosféricas, (23.02.2000)	039
III.	HIPOTESIS Y VARIABLES	040
3.1.	Hipótesis	040
3.2.	Definición conceptual de las variables	040
3.2.1.	Variable independiente	040
3.2.2.	Variable dependiente	040
3.3.	Operacionalización de las variables	040
3.3.1.	Indicadores operacionales de la variable independiente	040
3.3.2.	Indicadores operacionales de la variable dependiente	040
3.4.	Definiciones operacionales de la variable	041
IV.	DISEÑO METODOLOGICO	043
4.1.	Tipo y diseño de la investigación	043
4.2.	Método de investigación	045
4.3.	Población y muestra	046
4.4.	Lugar de estudio	046
4.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	046
4.6.	Plan de trabajo	048
4.7.	Análisis y procedimientos de datos	049
V.	RESULTADOS	050
5.1.	Caracterización de los efluentes no domésticos a partir de muestras monitoreadas.	050
5.2.	Tratamiento fisicoquímico (PJ) de las muestras (puntuales y/o compuestas de efluentes monitoreados, a pH de 2 unidades.	050

5.2.1. Caracterización de las muestras de los efluentes tratados en la Pruebas de Jarras.	053
5.2.2. Determinación de la eficiencia de remoción de parámetros dentro de los VMA.	053
5.3. Tratamiento fisicoquímico (PJ) a partir de las muestras de las pruebas realizadas a pH 2, una vez que se eliminan los sólidos sedimentados, se procede a elevar el pH hasta 11 unidades para precipitar el cromo reducido, es decir del Cr(VI) a Cr(III).	054
5.3.1. Resultado de la caracterización de las muestras de efluentes tratados en las pruebas de jarras a pH de 11.	056
5.3.2. Determinación de la eficiencia de remoción de parámetros dentro de los VMA	056
5.4. Diseño del sistema de tratamiento fisicoquímico para los efluentes generados por la industria galvánica	057
5.4.1. Esquema propuesto para el tratamiento de los efluentes	057
5.4.2. Determinación de los parámetros hidráulicos para el diseño del sistema de tratamiento	058
5.4.3. Diseño del sistema para el tratamiento fisicoquímico	062
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	067
6.1. Pruebas de reducción con el efluente a nivel de las PJ	067
6.2. Las pruebas para la reducción Cr(VI) a Cr(III)	068
6.3. Características del efluente luego de la reducción del Cr(VI)	068
6.4. Otros resultados que demuestran la eficiencia del tratamiento fisicoquímico	070
CONCLUSIONES	073
RECOMENDACIONES	075
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	076
ANEXOS	082
Matriz de Consistencias	083
Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM	084
Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA	094

INDICE DE TABLAS	Pág.
Tabla 1 Efluentes identificados a los procesos galvánicos	023
Tabla 2 Anexo N° 1	024
Tabla 3 Anexo N° 2	025
Tabla 4 Componentes de un agua residual industrial que pueden ser eliminados por tratamiento fisicoquímico	026
Tabla 5 Tratamientos fisicoquímicos o primarios para aguas residuales	029
Tabla 6 Operaciones, procesos unitarios y sistemas de tratamiento utilizados para eliminar la mayoría de contaminantes presentes en las aguas residuales	030
Tabla 7 Relación de los residuos y su origen	035
Tabla 8 Efectos de los contaminantes sobre aguas superficiales	036
Tabla 9 Efectos de ciertos contaminantes sobre la salud	036
Tabla 10 Requisitos de toma de muestra y preservación	047
Tabla 11 Métodos normalizados y equipos para el monitoreo	047
Tabla 12 Características del efluente en el colector principal	050
Tabla 13 Características del efluente (inicial y final) en la PJ, a pH: 2.0	053
Tabla 14 Eficiencia remocional de la PJ a un pH de 2 unidades	053
Tabla 15 Característica del efluente (inicial y final) en la PJ, a pH: 11.0	056
Tabla 16 Eficiencia remocional de la PJ a un pH de 11 unidades	056
Tabla 17 Aforo de los efluentes en una de las industrias	059

Tabla 18	Características de efluentes después del tratamiento fisicoquímico bajo las condiciones de pH de 2 y de 11 unidades	069
Tabla 19	Características del efluente simulando el tratamiento fisicoquímico, bajo las condiciones de pH de 2 y 11 unidades	072

INDICE DE FIGURAS

5.2.1.	Efluente a un pH de 2, al concluir la mezcla rápida de la PJ	051
5.2.2.	Efluente acidificado, a los 4 minutos de sedimentación	051
5.2.3.	Efluente acidificado, a los 8 minutos de sedimentación	052
5.2.4.	Efluente acidificado, a los 12 minutos de sedimentación	052
5.2.5.	Efluente acidificado, a los 15 minutos de sedimentación	052
5.2.6.	Efluente acidificado, a los 20 minutos de sedimentación	053
5.3.	Separación del sobrenadante ácido para PJ a pH de 11 unidades	054
5.3.1.	Efluente a pH de 11, durante la MR en la PJ	055
5.3.2.	El efluente a pH básico en la floculación de la PJ	055
5.3.3.	El efluente al concluir la floculación	055
5.3.4.	Vista del efluente al concluir la sedimentación	056
5.4.	Diagrama de flujo para el diseño de la planta de tratamiento de los efluentes de una industria galvánica	057
5.4.2.a.	Distribución de las líneas de desagüe de una planta industrial del sector galvánico	058
5.4.2.b.	Cálculo del Volumen del Tanque de Homogeneización	060
5.4.2.c.	Cálculo de la Velocidad de sedimentación	061
5.4.2.d.	Figura del cono de Inhoff lleno de efluente, sedimentando	062
5.4.2.e.	Figura del cono de Inhoff que muestra el lodo sedimentado	062
5.4.3.f.	Vista del Sedimentador Lamelar	065
6.1.a.	Vista del efluente en la PJ a pH de 2, con la dosis de reactivos	067
6.1.b.	Vista del efluente en la PJ a pH de 2, al concluir la sedimentación	067
6.2.	Vista del efluente en la PJ a pH de 11, al final de la sedimentación	068
6.4.a.	Vista de dos muestras puntual recolectados en la misma planta	070
6.4.b.	Vista de dos muestras, la 1° con FeCl_3 y la 2° con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	070
6.4.c.	Vista de dos muestras, la 1° con FeCl_3 y la 2° con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, tipo ácido, además se le dosifica 2 ppm de polielectrolito aniónico	071
6.4.d.	Vista de dos muestras, la 1° con FeCl_3 y la 2° con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, tipo ácido, además se le dosifica 2 ppm de polielectrolito aniónico y 30 minutos de reposo	071
6.4.e.	Vista de la muestra del sobrenadante, a la que se le dosifico FeCl_3 y polielectrolito aniónico 2 ppm	071
6.4.f.	Vista de la muestra del sobrenadante, a la que se le dosifico $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ del tipo ácido y polielectrolito aniónico 2 ppm	071
6.4.g.	Vista de la simulación del tratamiento fisicoquímico de los efluentes de una de las plantas galvánicas, con mezcla manual	072
4.1.	Equipo de Pruebas de Jarras	097

RESUMEN

El presente trabajo investigación, denominado: **“SISTEMA DE TRATAMIENTO FISCOQUÍMICO PARA LA REMOCIÓN DEL CROMO EN EFLUENTES INDUSTRIALES PARA SU DISPOSICIÓN FINAL”**, se realizó en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Callao, ubicada en el Distrito de Bellavista - Callao, investigación que se realiza a partir de los efluentes industriales con alto contenido de Cr (VI) y Cr total, provenientes de procesos electro galvánicos.

Para ello, se sometieron las muestras de estos efluentes en sendas pruebas de jarras donde se aplicó el tratamiento fisicoquímico como opción, 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.

La investigación realizada permitió resolver el problema, que lo planteáramos a modo de 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?**

Con el fin de responder esta interrogante, nos planteamos la siguiente 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”.

La investigación fue del tipo experimental y aplicada, de modo que, para demostrar la hipótesis de investigación, se efectuaron una serie de Pruebas de Jarras, aplicando un protocolo por cual se manipularon los indicadores de la variable, y como resultado de ello se demostró, los valores de los indicadores de la variable dependiente que permitan la caracterización de los efluentes tratados para su disposición final al alcantarillado.

Palabras clave: Tratamiento fisicoquímico; Pruebas de jarras; Efluente contaminado con Cr.

ABSTRACT

The present research work, entitled: “**PHYSICOCHEMICAL TREATMENT SYSTEM FOR THE REMOVAL OF THE CROMO IN INDUSTRIAL EFFLUENTS FOR YOUR FINAL DEVICES**”, was carried out in the University City of the National University of Callao, located in the District of Bellavista – Callao, research that is carried out from industrial effluents with high content of Cr (VI) and Cr total, coming from electro galvanic processes. To do this, samples of these effluents were submitted in the jar tests where physicochemical treatment was applied as an option, so that its implementation allows to be an option so that the industrial effluent once treated continuously can be arranged to the sewage system complying with the current regulations i.e. DS N° 021-2009-VIVIENDA of 20 November 2009.

The research carried out made it possible to solve the problem, that we raise it as a question: **To what extent is it possible to reduce chromium present in an industrial effluent through physicochemical treatment, so that it complies with the current regulations prior to its final disposal?**

In order to answer this question, we raise the following hypothesis: "The physicochemical treatment of effluents from a galvanic industry will allow the reduction of Chromium and other components that meet the Maximum Permissible Quality Values to be arranged for sewerage".

The research was of the experimental and applied type, so that, in order to demonstrate the research hypothesis, a series of Jar Tests were carried out, applying a protocol by which the indicators of the variable were manipulated, and as a result, the values of the dependent variable indicators that allow the characterization of treated effluents for final disposal to sewerage were demonstrated.

Keywords: Physicochemical treatment; Jug testing; Effluent contaminated with Cr.

INTRODUCCION

La investigación denominada **“SISTEMA DE TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO PARA LA REMOCION DEL CROMO EN EFLUENTES INDUSTRIALES PARA SU DISPOSICIÓN FINAL”**, demostró a raíz de los resultados obtenidos que, el sistema de tratamiento fisicoquímico evaluado para la remoción del Cromo (Cr) de efluente industrial es aplicable.

Dado que 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 efluentes industriales. Esto obliga a muchas empresas a aplicar tecnologías de prevención de la contaminación y de recuperación del cromo de sus aguas residuales.

De modo que el tratamiento fisicoquímico es una opción para el tratamiento de estos efluentes contaminados con Cr (VI), su implementación permite 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, son los provenientes de las Industrias de 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 sustentó en el conocimiento teórico y práctico sobre el problema y temas de estudio como son los tratamientos de efluentes industriales y otros, revisándose 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 a 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 se propuso evaluar un sistema de tratamiento fisicoquímico, siendo necesario simular a nivel de laboratorio este tratamiento a partir de pruebas de Jarras y posteriormente, diseñar el sistema de tratamiento para su implementación dentro de los conceptos de Innovación Tecnológica para el tratamiento de los efluentes industriales.

Importancia.- El trabajo de investigación es importante, porque se estudia una alternativa para la reducción de la contaminación presente en el efluente generado por procesos galvánicos y de otro que utilicen sales de cromo hexavalentes y trivalentes, de modo que el efluente tratado pueda disponerse al colector urbano. Se evalúan varias combinaciones de coagulantes y floculantes, así como el tratamiento fisicoquímico en condiciones de pH ácido y básico, como una alternativa para la reducción de la toxicidad, además esto permite generar información básica, generar procedimiento sencillo y efectivos que puedan ser replicados por otras investigaciones.

Justificación.- El presente trabajo de investigación se justificó debido a la necesidad de que el tratamiento fisicoquímico sea una opción para el

tratamiento de estos efluentes contaminados con Cr (VI), su implementación permite 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.

Justificación ambiental.- 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.

Contar con un nuevo sistema que permita tratar los efluentes industriales de la industria con alto contenido de cromo y cuya disposición al cumplir con el tratamiento físico químico dentro de los VMA, no genere impacto sobre el cuerpo receptor independientemente del alcantarillado de una ciudad, es decir, que podría ajustarse a partir de estos valores otras técnicas y/o procesos para su disposición a un curso de agua natural (río, lagos o mar) en la que se tendrían que aplicar los valores propuestos por los ECAs evitando la contaminación del cuerpo receptor.

Justificación económica.- muchas técnicas de tratamiento de efluentes industriales propuestos utilizan técnicas que requieren de gran inversión y de equipos muy dosificados, mientras el sistema físico químico evaluado para estos efluentes industriales, se realizan dosificando coagulantes en unos casos sales de hierro y/o de aluminio que requieren de infraestructura

de menor costo, al igual que el usos de polímeros sintéticos que generalmente son importados de un costo mucho mayor y que igualmente requiere de infraestructura similar al del uso de sales inorgánicas, lo que representa ser más económica que otras alternativas tanto en la inversión como en su operación.

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.- La exposición humana a elevadas concentraciones de determinados metales tóxicos, o sus derivados, ha ido aumentando a lo largo del siglo XX hasta la actualidad como consecuencia del aumento en la explotación, transformación y consumo de numerosos compuestos, necesarios para el desarrollo de diversas actividades industriales. Un caso particular es el consumo y tratamiento de minerales metálicos, el cual se lleva a cabo generalmente en áreas localizadas de países industrializados, provocando problemas medioambientales debido a la contaminación del medio terrestre, acuoso o atmosférico.

La contaminación por metales sobre el medio acuoso es debida fundamentalmente a las descargas de aguas residuales procedentes de industrias dedicadas al procesamiento de materiales que contienen metales en su composición. El vertido de aguas contaminadas procedentes de estos procesos afecta a la cantidad de sólidos disueltos, a la toxicidad y la acidez de las aguas, que se generan como efluentes industriales con elevadas presencias de Cromo disuelto, que constituyen un riesgo para la vida, además de hacer necesario el uso de tecnología de depuración muy costosa para que el agua pueda disponerse a los sistemas de alcantarillado, de modo que la necesidad

de plantear el tratamiento de estos efluentes necesariamente tiene que ver con la eficacia del mismo.

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. Limitantes de la investigación.- 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.

1.4.1. Limitante teórica.- Dela revisión biblioteca sobre sistemas de tratamiento físico químico es basta, pero no existe

específicamente para la problemática que nos ocupó el presente trabajo de investigación, de otro lado las publicaciones y/o referencias en su mayoría han trabajado con soluciones preparadas a partir de mezcla de sales y compuestos diversos de Cromo Hexavalente y Trivalente con lo que han simulado la calidad de un efluente industrial, para el desarrollo de sus Pruebas de Jarras, con el cual simularon el tratamiento fisicoquímico, diferente al de nuestro trabajo de investigación que se trabajó con muestras recolectadas del propio efluente industrial.

1.4.2. Limitante temporal.- No obstante que se nos facilitó la toma de los efluentes, más de una vez no encontrábamos que no había las condiciones de seguridad y cantidad suficiente para su extracción y por otro lado cuando encargábamos su recolección, esta no era cumplida, debido a ello teníamos que acudir a otra de las empresas comprometidas para la obtención de la muestra del efluente.

Otra que la calidad de los efluentes industriales variaban en función de las actividades y procesos que ocurrían 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 tenía que prever de un sistema que homogenice la calidad y el volumen del efluente previos al tratamiento, en razón de obtener muestras compuestas durante el total de horas de trabajo, en la que en más de una vez fue de 24 horas por día.

1.4.3. Limitante espacial.- Había que acudir a efectuar el muestreo a lugares bastante lejanos de los laboratorio de la FIARN, a Ventanilla, y otros a Ate, lo que contemplaba tomar las medidas de seguridad para recolectar las muestras de efluente generado por industria instalada fuera del distrito de Bellavista por cuando se evaluó la posibilidad de que, el sistema de

tratamiento prototipo se implemente a nivel de una industria de las industria que a pesar de todo colaboraron con sus muestras.

1.5. Alcances de la investigación.-

- La investigación fue del tipo Experimental, por lo tanto, de carácter aplicada, para ello se simulo el tratamiento fisicoquímico a nivel de laboratorio, el mismo que permitió obtener los 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 Fisicoquímico 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 separaran 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 O, 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 efluentes de curtido de un proceso tradicional, con procesos alternativos que utilizan agentes complejantes 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 fotocatalisis 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 fotocatalisis 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 fotocatalisis, 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 inoxidables 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.

a) 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).

b) 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).

c) 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 galvanicos

Proceso	Materia Prima	Residuo Generado
Limpeza y pulido	Micro polimeros, 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 galvanicos 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 (pka: constante de acidez del par ácido) 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 galvanica 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.

d) 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).

e) 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 AMONIACAL (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 CIU. 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 aplicáramos en la presente investigación, se basa en la siguiente conceptualización:

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 fisicoquímicos 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	Acomplejado 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, ver Tabla 5. denominada: Tratamiento físico químicos o primarios empleados para aguas residuales industriales.

i. 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.

ii. **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.

iii. **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.

- iv. 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.
- v. 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.
Tratamientos fisicoquímicos 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. Proceso de clarificación, para eliminar materia en suspensión.
	Líquido-líquido: Flotación, Filtración. Separación de grasas y aceites. Flotación, coagulación.

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

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

a.- 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, 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 fijas: 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 amoníaco, 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

b.- 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:

- i. **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)
- ii. **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)

- iii. **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)
- iv. **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)
- v. **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).

- vi. **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 tiene 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):

- a.- **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.

b.- 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.

c.- 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 DBO_5 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, microaerófilas, 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 desnitrificación 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).

d. 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).

e. 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 flóculos 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 7 “Relación de los residuos y su origen”, en la Tabla 8 los “Efectos de los contaminantes sobre las aguas superficiales” y en la Tabla 9 los “Efectos de ciertos contaminantes sobre la salud”.

Tabla 7
Relación de los residuos y su origen

Residuo	Corriente	Proceso
Álcalis corrosivos	Residuo líquido	Limpieza y electro depósito
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	Electrodepósitos remoción, Tratamiento calorífico, desmanchado.
Cromatos Tóxico	Baño de recubrimiento. Agua de lavado, lodos, otros	Electrodepósito, 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 8
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 9
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.- La disposición final o 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. N° 1055, Decreto Legislativo que modifica la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.-

Art. 1º.- Modifíquense los artículos 32º, 42º, 43º y 51º de la Ley N° 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 VARIABLES

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 de Jarras, (1 L) X₁
- Gradiente de Mezcla Rápida, (120 rpm) X₂
- Tiempo de Mezcla Rápida, (1 min) X₃
- Gradiente de Floculación, (30 rpm) X₄
- Tiempo de Floculación, (15 min) X₅
- Tiempo de Sedimentación, (20 min) X₆

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) Y₁

○ 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

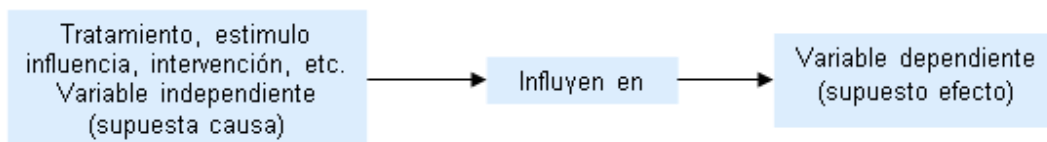
3.4. Definiciones operacionales de la variable.-

- 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 trnsparencia, 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 METODOLOGICO

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 el diagrama:



Para el desarrollo del trabajo de Investigación, como se ha especificado se simuló el tratamiento fisicoquímico, para ello se utilizó el equipo de Pruebas de Jarras (PJ) ver figura 4.1. en el Apéndice, con el cual se sometieron volúmenes de muestra de un efluente proveniente de industria galvánica, en este, se mantuvieron los Indicadores de la Variable Independiente fijos, es decir bajo un protocolo de pruebas, que permitieron determinar las dosis óptima de reactivos Neutralizantes, coagulantes y floculantes, y como resultado de ello se evaluó, 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 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 precisamos 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:

Escriba el texto aquí

- preexperimentos,
- experimentos “puros”, y
- cuasi experimentos.

Teniendo como referencia esta clasificación, nuestro trabajo de investigación se encuadra dentro del diseño preexperimental, con preprueba – posprueba, el mismo se efectuó 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 O₁ X O₂

En este diseño conoceremos un punto de referencia inicial (**O₁**) para ver el nivel que tiene el grupo (**G**) en la variable dependiente ante del estímulo o tratamiento (**X**) y posteriormente que nivel (**O₂**) alcanzara luego del tratamiento.

4.2. Método de investigación.- La presente de investigación se centró 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 hizo 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

of:360
Escriba el te

- 4.3. Población y muestra.-** La Población o Universo (**N**) del presente trabajo de investigación, fueron los efluentes no domésticos generados en una determinada industria que utilice procesos galvánicos, y que se sometieron al tratamiento en la pruebas de jarras, 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 utilizaron 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 utilizaron, 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 de estudio.-** Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales que se ubica en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Callao.
- 4.5. Técnicas e instrumento de recolección de datos.-** Con la información de la caracterización del efluente no doméstico o industrial, se sometieron a pruebas de jarras (PJ) y con ella se determinaron los reactivos y las dosis que permitieron que el efluente tratado alcance los Valores Máximos Admisibles de sus componentes residuales. Posteriormente se seleccionaron 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, en las tablas 10 denominada “Requisitos de toma de muestra y preservación” y 11 denominada “Métodos normalizados y equipos para el monitoreo”

Tabla 10
Requisitos de toma de muestra y preservación

Parámetro	Recipiente	Volumen	Conservar /Preservar	Tiempo de almacenamiento	Instrumento de medición
Turbidez	Plástico (P)	100 ml	4 C°, guardar en la oscuridad	Máximo 24 horas	Turbidímetro
pH	Plástico (P)	100 ml	---	Análisis Inmediato	pH-metro/multiparámetro
Conductividad eléctrica	Plástico (P)	500 ml	Refrigerar a 4 C°	Análisis Inmediato	Multiparámetro
Coliformes Termotolerantes	Frasco de vidrio, boca ancha	500 ml	Refrigerar a >10°C	24 horas	laboratorio
Aceites y Grasas	Vidrio Ámbar de boca ancha	1000 mL	Refrigerar a 4°C, agregar H ₂ SO ₄ pH<2	28 días	laboratorio
Demanda Química de Oxígeno	Plástico	200ml	Refrigerar a 4°C, agregar H ₂ SO ₄ pH<2	28 días	laboratorio
Demanda Bioquímica de Oxígeno	Plástico	1000ml	Refrigerar a 4°C	24 horas	laboratorio

Fuente: Anexo VII Conservación y preservación de muestras de agua en función del parámetro evaluado - RJ 010-2016 ANA

Tabla 11
Métodos normalizados y equipos para el monitoreo

Parámetro	Estándar Methods APHA	Método	Equipos	Unidades
Temperatura	2550-B	Termométrico	Multiparámetro	°C
Turbidez	2130-B	Nephelometric	Turbidímetro	NTU
pH	4500-H	Sensor- insitu	PH metro	unidades
Conductividad eléctrica	2510-B	Celda o electrodo de conductividad	Conductímetro / Multiparámetro	µmhos/cm
Coliformes termotolerantes	9222-E	Filtración por membrana	Equipo de filtración, placa esterilizada	NMP/100mL
Aceites y Grasas	5520-B	Extracción liquido-liquido	Pera de decantación y destilador	mg/L
Demanda Química de Oxígeno	5220-B	Reflujo cerrado	colorímetro	mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno	5210-B	DBO ₅ (5 días, 20°C)	Incubadora	mg/L

Fuente: Methods for the examination of water and wastewater 24 edition 2005-APHA-AWWA-

4.6. Plan de trabajo.-

- i. Caracterización del efluente proveniente de una industria galvánica.
- ii. Evaluación a nivel de laboratorio con pruebas de Jarras (simulación del tratamiento fisicoquímico), con muestras de efluentes de una industria galvánica.

Protocolo de Prueba de Jarras:

- Equipo: Prueba de Jarras (1L de capacidad/jarra), Número de jarras por prueba 4 unidades;
- Velocidad de Mezcla rápida: 120 rpm;
- Tiempo de Mezcla rápida: 1min;
- Velocidad de Mezcla lenta: 30 rpm;
- Tiempo de Mezcla Lenta: 15 min;
- Tiempo de sedimentación: 20 min.

Reactivos utilizados:

- Sulfato de aluminio solución al 10%, (% en Vol.);
- Soda caustica en solución al 20%, (% en peso)
- Polielectrolito aniónico solución al 0.5 %, (% en peso);
- Polielectrolito Catiónico al 1%, (% en peso).

- iii. Evaluación a nivel de laboratorio con pruebas de Jarras (simulación del tratamiento Caracterizar los efluentes tratados en las Pruebas de Jarras.- En su etapa experimental se requerirá recolectar datos de los efluentes, lo que permitirá 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.
- iv. Determinar la eficacia de la remoción del cromo y otros parámetros
- v. Diseñar el sistema de tratamiento para un determinado caudal de tratamiento.

4.7. Análisis y procedimientos de datos.- El muestreo de los efluentes se realizó en el mismo desagüe de fábrica seleccionada, las que se trasladaron al laboratorio de la FIARN, para someterlas a la PJ. A partir de las observaciones obtenidas y tabuladas se aplicaron técnicas estadísticas inductivas que permitió obtener conclusiones a partir del uso de los programas Excel o SPSS. Se elaboro la prueba de Hipótesis, Significancia o Regla de decisión que nos permitan determinar si las muestras observadas difieren significativamente de los resultados esperados.

V. RESULTADOS

Para la presente investigación se recolectaron muestras de los efluentes de industrias galvánica, de dos factorías industriales las cuales se ubican en el Callao, tales como **JAHESA Aceros Inoxidables S.A.** e **Industrias del Zinc S. A.**, con muestras puntuales y compuestas, cuyos resultados presentamos a continuación.

5.1. Caracterización de los efluentes no domésticos a partir de muestras monitoreadas, se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12
Característica del efluente en el colector principal

Parámetros	Resultado de Análisis de Colector General	Unidad	VMA DS N° 021-2009-VIVIENDA
DBO ₅	2500	mg/L	500
DQO	3944	mg/L	1000
Sólidos Totales en Suspensión	1085	mg/L	500
Cromo total	18.84	mg/L	10
Cromo hexavalente *	7.5	mg/L	0.5
Cobre total	24.34	mg/L	3
Plomo total	0.734	mg/L	0.5

Nota: * Modificatoria por DS N° 001-2015-VIVIENDA

5.2. Tratamiento fisicoquímico (PJ) de las muestras (puntuales y/o compuestas) de efluentes monitoreados, a pH de 2 unidades.

Protocolo de Prueba de Jarras:

- Equipo: Prueba de Jarras (1L de capacidad/jarra), Número de jarras por prueba 4 unidades;
- Velocidad de Mezcla rápida: 120 rpm;
- Tiempo de Mezcla rápida: 1min;
- Velocidad de Mezcla lenta: 30 rpm;
- Tiempo de Mezcla Lenta: 15 min;

- Tiempo de sedimentación: 20 min.

Reactivos utilizados:

- Ácido Clorhídrico solución 1 N
- Sulfato de aluminio solución al 10%, (% en Vol.);
- Polielectrolito aniónico solución al 0.5 %, (% en peso);
- Polielectrolito Catiónico al 1%, (% en peso).

Dosis optima aplicada para análisis por laboratorio acreditado:

- Dosis de Ácido Clorhídrico: 5 ml/L
- Dosis de Sulfato de Aluminio Acido: 7 ml/L;
- Dosis de Polímero Catiónico: 20 ppm
- Dosis de Polímero Aniónico dosis: 4ppm

Resultados: Se muestran juego de figuras de las pruebas de jarras para las muestras recolectadas cuyos resultados se obtuvieron con la dosis optima aplicada para el análisis por un laboratorio acreditado.

La Figura 5.2.1. muestra el efluente Acidificado a pH de 2.00, al concluir la Mezcla Rápida (MR) en la PJ

Figura 5.2.1. Efluente a un pH de 2, al culminar la MR en la PJ



Fuente: Autoría propia.

La Figura 5.2.2. muestra al efluente Acidificado a pH 2.00, a los 4 min de Sedimentación

Figura 5.2.2. Efluente acidificado, a los 4 min de sedimentación



Fuente: Autoría propia.

La Figura 5.2.3. muestra al efluente Acidificado a pH 2.00, a los 8 min de Sedimentación

Figura 5.2.3. Efluente acidificado, a los 8 min de sedimentación



Fuente: Autoría propia.

La Figura 5.2.4. muestra al efluente Acidificado a pH 2.00, a los 12 min de Sedimentación

Figura 5.2.4. Efluente acidificado, a los 12 min de sedimentación



Fuente: Autoría propia.

La Figura 5.2.5. muestra al efluente Acidificado a pH 2.00, a los 15 min de Sedimentación

Figura 5.2.5. Efluente acidificado, a los 15 min de sedimentación



Fuente: Autoría propia.

La Figura 5.2.6. muestra al efluente Acidificado a pH 2.00, a los 20 min de Sedimentación

Figura 5.2.6. Efluente acidificado, a los 20 min de sedimentación



Fuente: Autoría propia.

5.2.1. Caracterización de las muestras de los efluentes tratados en las Pruebas de Jarras se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13–Características del efluente (inicial y final) en la PJ, a pH: 2.0

Parámetro	Unidad	Inicial	Final
Turbiedad	NTU	680	7.0
pH	Unidades	4.5	2
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	40.6	7.1
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	183.6	62.3
Cromo Total	mg/L	11.57	8.6
Cobre total	mg/L	2.22	1.2
Plomo Total	mg/L	0.028	0.017

Fuente: Autoría propia.

5.2.2. Determinación de la eficiencia de remoción de parámetros dentro de los VMA, se muestra en la Tabla 14

Tabla 14-Eficiencia de remoción de la PJ a un pH de 2

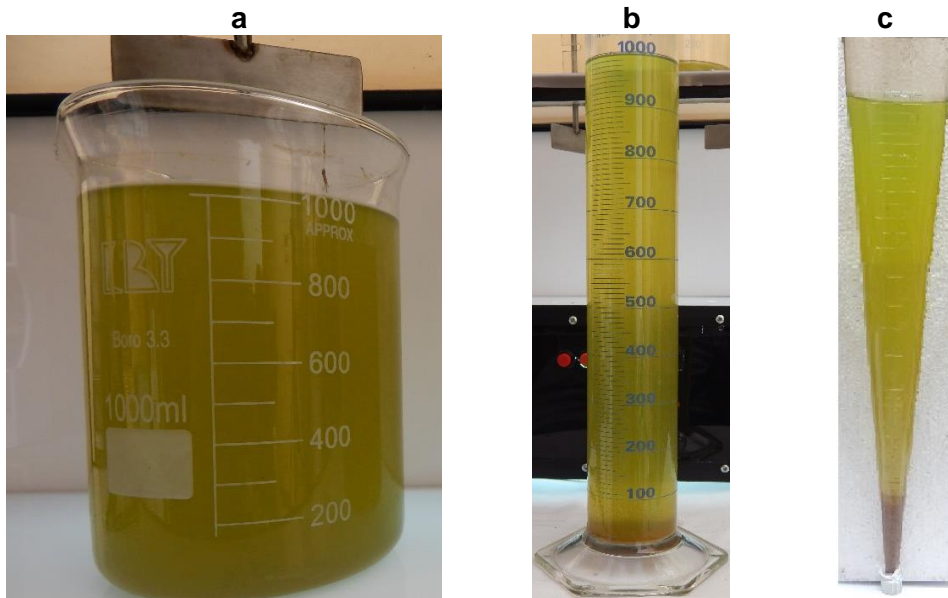
Parámetro	% Remocional
Turbiedad	98.97
pH	2.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	82.51
Demanda Química de Oxígeno	66.06
Cromo Total	25.66
Cobre total	45.94
Plomo Total	64.70

Fuente: Autoría propia.

5.3. Tratamiento fisicoquímico (PJ) a partir de las muestras de las pruebas realizadas a un pH 2, una vez que se eliminan los sólidos sedimentados, se procede a elevar el pH hasta 11 unidades para precipitar el cromo reducido, es decir del Cr(VI) a Cr(III).

Con el líquido sobrenadante libre de sedimentos ver figuras 5.3. a, b y c, (generados en la etapa acida) se somete al protocolo, siguiente:

Figuras 5.3. Separación del sobrenadante ácido para PJ a pH de 11 unidades



Notas: El efluente acidificado a un pH de se deja sedimentar y el sobrenadante se utilizara para precipitar el Cr(III), llevándolo a un pH de 11 y se adiconaran las dosis respectivas de coagulantes y floculantes

Protocolo de Prueba de Jarras:

- Equipo: Prueba de Jarras (1L de capacidad/jarra), Número de jarras por prueba 4 unidades;
- Velocidad de Mezcla rápida: 120 rpm;
- Tiempo de Mezcla rápida: 1min;
- Velocidad de Mezcla lenta: 30 rpm;
- Tiempo de Mezcla Lenta: 15 min;
- Tiempo de sedimentación: 20 min.

Reactivos utilizados:

- Soda Cautica en solución al 40% (% en Peso)
- Polielectrolito aniónico solución al 0.5 %, (% en peso);
- Polielectrolito Catiónico al 1%, (% en peso).

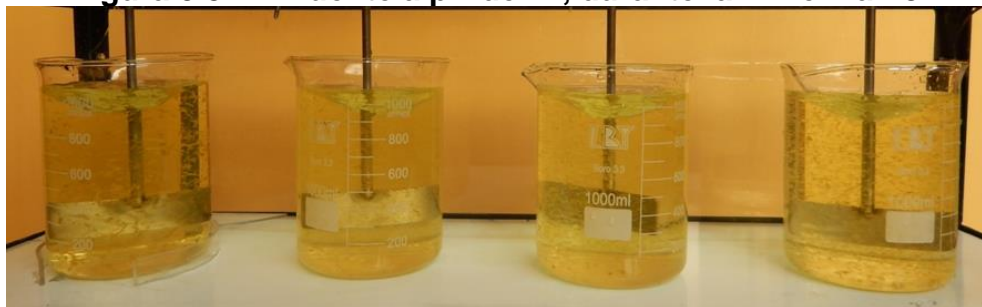
Dosis optima aplicada para análisis por laboratorio acreditado:

- Dosis de Soda Caustica: 3.5 ml/L
- Dosis de Polímero Catiónico: 25 ppm
- Dosis de Polímero Aniónico dosis: 1 ppm

Resultados: Se muestran juego de figuras de las pruebas de jarras para las muestras recolectadas cuyos resultados se obtuvieron con la dosis optima aplicada para el análisis por un laboratorio acreditado.

La Figura 5.3.1. muestra el efluente a un pH de 11.00, y las dosis de los polímeros catiónico y aniónicos durante la Mezcla Rápida (MR)

Figura 5.3.1. Efluente a pH de 11, durante la MR en la PJ



Fuente: Autoría propia.

La Figura 5.3.2., corresponde a la muestra del efluente durante su etapa de floculación

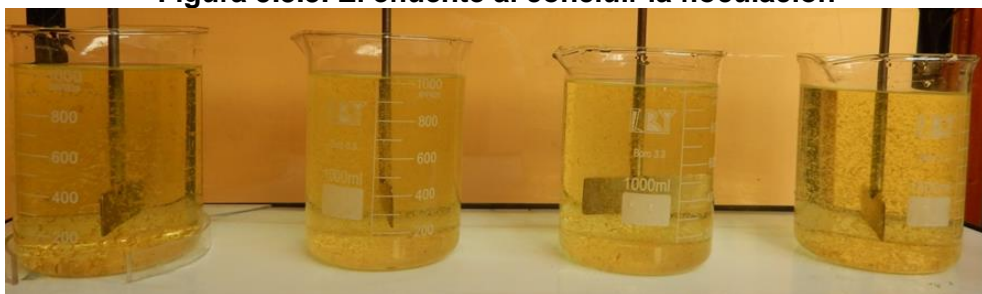
Figura 5.3.2. El efluente a pH básico en la floculación de la PJ



Fuente: Autoría propia.

La Figura 5.3.3., corresponde al concluir el periodo de floculación de 15 minutos, y detener las paletas de agitación.

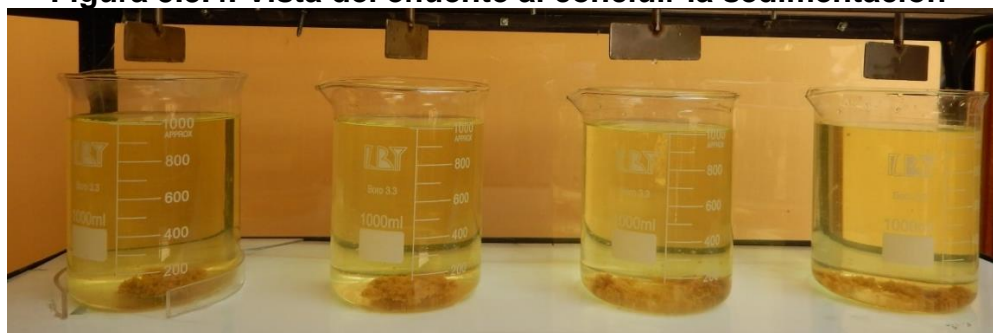
Figura 5.3.3. El efluente al concluir la floculación



Fuente: Autoría propia.

La Figura 5.3.4., corresponde al concluir periodo de sedimentación de 20 minutos, en el que se retiraron las paletas luego que se detuvo la agitación, se observa el sedimento generado por la dosificación de los reactivos, recuérdese, que esta fase se realizó a pH básico, se extrae el sobrenadante para su análisis por laboratorio acreditado.

Figura 5.3.4. Vista del efluente al concluir la sedimentación



Fuente: Autoría propia.

5.3.1. Resultado de la caracterización de las muestras de efluentes tratados en las Pruebas de Jarras a pH de 11 unidades, se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15 – Características del efluente (inicial y final) en la PJ, a pH: 11.00

Parámetro	Unidad	Inicial	Acondic.	Final
Turbiedad	NTU	7.0		3.20
pH	Unidades	2.0	11.00	8.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	7.1		2.1
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	62.3		22.3
Cromo Total	mg/L	8.6		3.50
Cobre total	mg/L	1.2		0.8
Plomo Total	mg/L	0.017		0.010

5.3.2. Determinación de la eficiencia de remoción de parámetros dentro de los VMA.

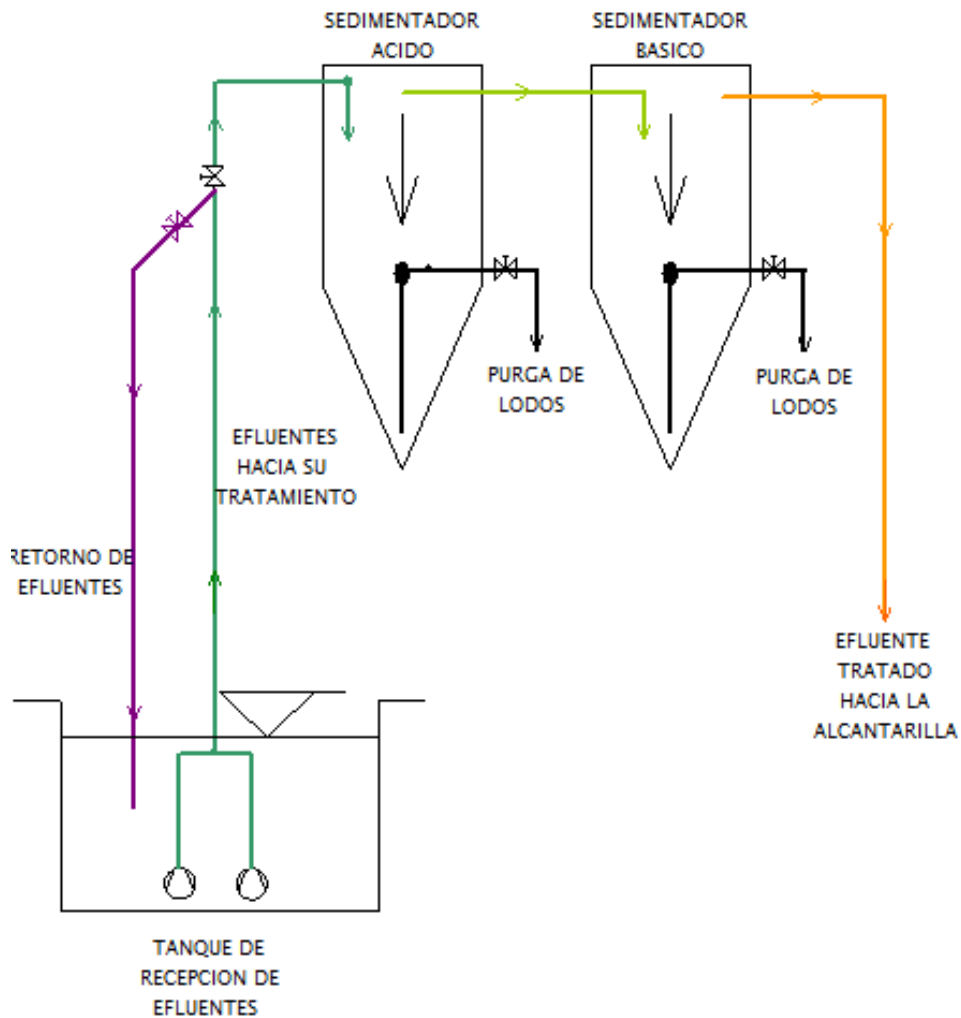
Tabla 16-Eficiencia remocional de la PJ a un pH de 11 unidades

Parámetro	% Remocional
Turbiedad	54.28
pH	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno	70.42
Demanda Química de Oxígeno	64.20
Cromo Total	59.30
Cobre total	33.33
Plomo Total	41.17

5.4. Diseño del sistema de tratamiento fisicoquímico para los efluentes generados por la industria galvánica.

5.4.1. Esquema propuesto para el tratamiento de los efluentes, de acuerdo a las pruebas de simulación en las PJ, para ello el tratamiento que se propone según las PJ llevadas a cabo se aprecia en la figura 5.4.

Figura 5.4.
Diagrama de flujo para el diseño de la planta de tratamiento de los efluentes de una industria galvánica.



Fuente: Elaboración propia.

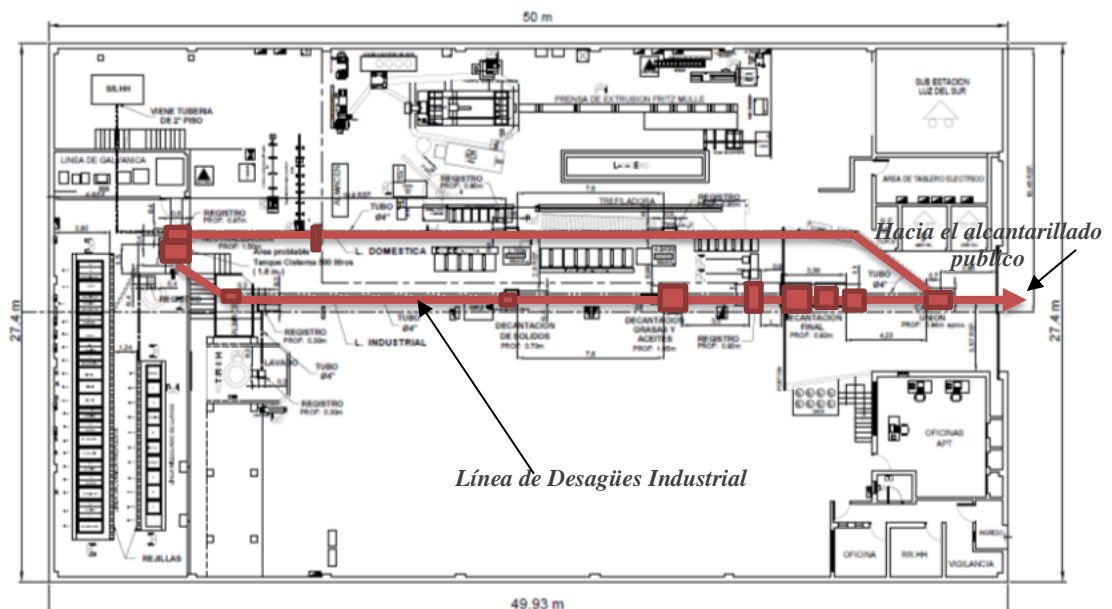
En la figura precedente, se presenta el tratamiento físico químico, el mismo que estará constituido de un Tanque para la homogeneización del efluente, debido a que durante las 08 ó 12 horas que laboran estas empresas generan efluentes de diferentes calidades y a diferentes caudales, por ello se deberá tratarse los efluentes a caudal constante y con casi las mismas

características, para la remoción del Cr(VI) a Cr(III), se hace necesario modificar el pH inicial de la muestra que estaría en el orden de 7 a 5 unidades y ya en el tratamiento se hace necesario la reducción a pH menor de 2 unidades, luego de dosificar los coagulantes y floculantes para precipitar el los metales incluido el Cromo VI, todo esto ocurrirá en un primer sedimentador con cámara de mezcla rápida y floculador de pantallas para luego pasar a un sedimentador de placas, el sobrenadante ácido pasara por gravead a un segundo sedimentador similar al primero pero en este el pH del efluente acido se elevara hasta un pH de 11 unidades con adición de Soda Cautica, que permita precipitar el Cr(III) con la adición de floculantes y coagulantes y regular el pH a valores de 7.5 unidades.

5.4.2. Determinación de parámetros hidráulicos para el diseño del sistema de tratamiento.

Previamente al diseño del sistema de tratamiento, se tendrá en cuenta las facilidades existentes de la Planta Industrial donde se generan los efluentes, estas facilidades tienen que ver con la línea de desagüe industrial existente, así como el lugar donde se ubicaría el sistema de tratamiento, para este caso se muestra la figura 5.4.2.a. que muestra la distribución de la línea de desagües de los efluentes industriales de la planta galvánica.

**Figura 5.4.2.a.
Distribución de líneas de desagües de una planta industrial del sector galvánico**



Además, para el diseño de la planta será necesario seleccionar los parámetros hidráulicos, obtenidos a partir de las Pruebas de Jarras (PJ), como el de gradiente de mezcla, de floculación, tiempos de mezcla y floculación, volúmenes de lodos generados, caudales provenientes de los aforos del desagüe, velocidad de sedimentación de lodos, entre otros.

A. Determinación de caudal de tratamiento y diseño del tanque de homogeneización.

Para el cálculo del caudal de tratamiento y el diseño del tanque de homogeneización se hace necesario aforar el caudal del efluente durante las horas de trabajo de la factoría o la empresa donde se realizan las diversas actividades galvánicas. caudal de tratamiento (promedio).

Se programaron las actividades de aforo en una de las empresas, obteniendo el aforo que se presenta en la tabla 17, siguiente:

Tabla 17 – Aforos de los efluentes en una de las industria

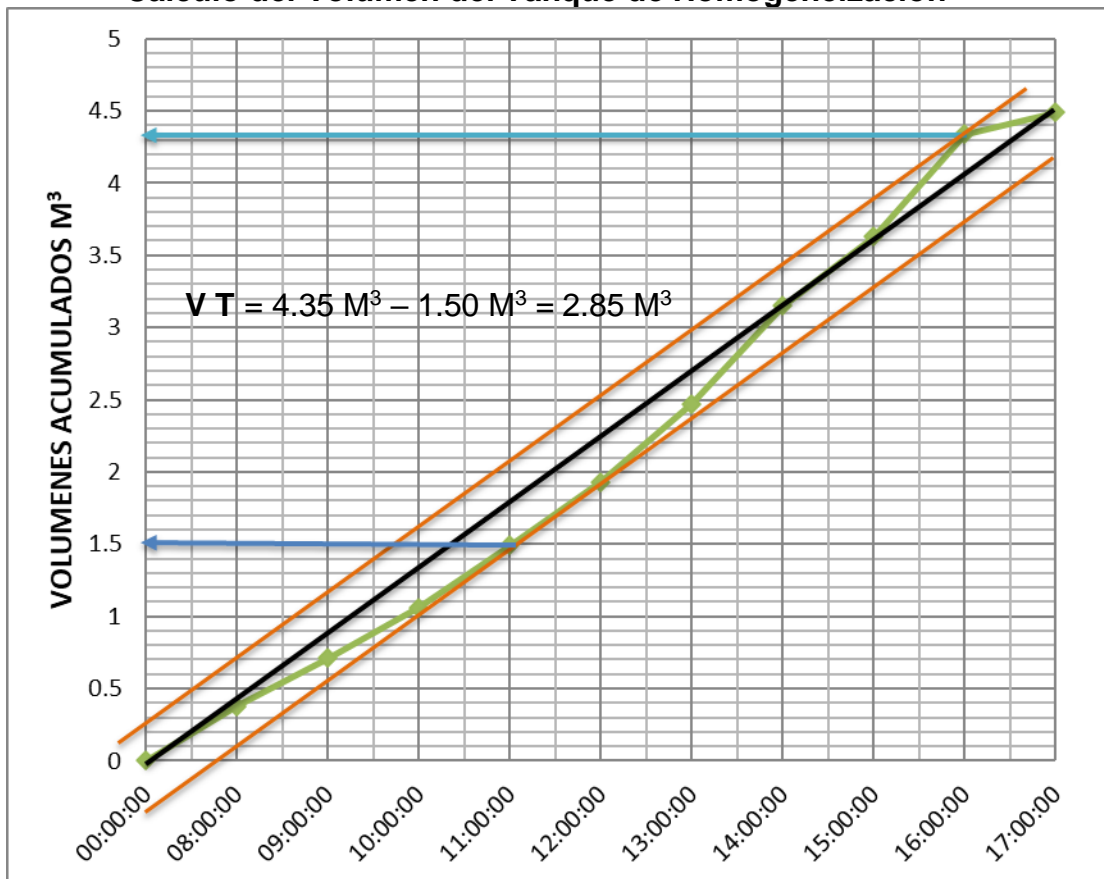
<i>Periodo de tiempo horas</i>	<i>Volumen aforado cada hora (M³/hora)</i>	<i>Volumen acumulado de caudal al final del periodo del tiempo, M³</i>
00:00:00	0.00	0.00
08:00:00	0.38	0.38
09:00:00	0.33	0.71
10:00:00	0.35	1.06
11:00:00	0.43	1.49
12:00:00	0.44	1.93
13:00:00	0.54	2.47
14:00:00	0.68	3.15
15:00:00	0.48	3.63
16:00:00	0.71	4.34
17:00:00	0.15	4.49

Fuente: Elaboración propia

A partir del aforo, se realizó la curva correspondiente de Periodos de tiempo en horas vs. Volúmenes de caudales acumulados,(ver figura 5.4.2.b) para determinar el Volumen del tanque de Homogeneización, siendo este de

2.85 M³, la curva de los volúmenes acumulados, determinan por cierto el volumen generado de efluente total de la planta de galvanizado, siendo este de 4.49 M³, lo que permite calcular el caudal promedio diario de tratamiento, es decir de 187.5 Litros / hora o dicho de otra manera 0.188 M³/hora, lo que equivaldrá al caudal de diseño del sistema de tratamiento de los efluentes generados.

Figura 5.4.2.b.
Cálculo del Volumen del Tanque de Homogeneización

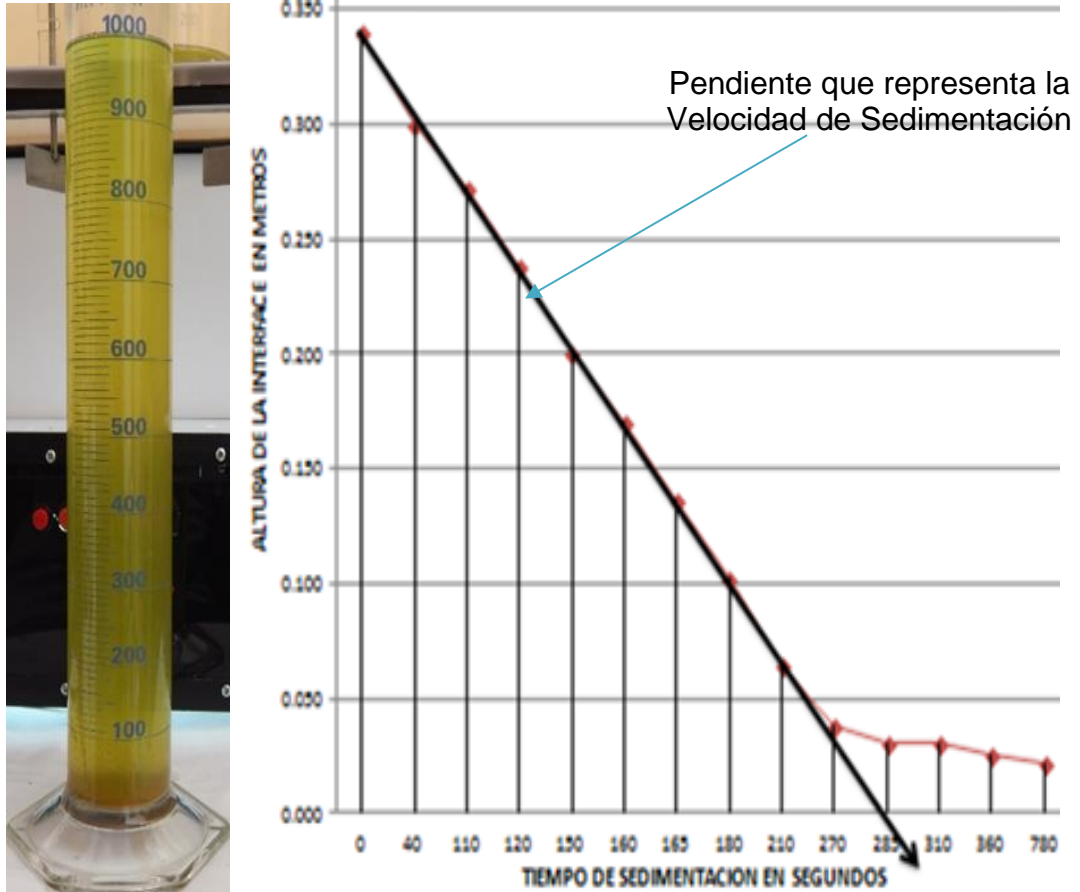


Nota: Autoría propia, VT: Volumen del tanque de Homogeneización

B. Velocidad de Sedimentación y Volumen de los lodos.- A partir de las PJ en la que se obtuvieron las dosis promedio de los reactivos químicos que permitieron la reducción del Cr(VII) y Cr(III) del efluente dentro de los VMA, con el fin de obtener la velocidad de sedimentación, se trasvasa un litro del efluente tratado dentro de una probeta de un litro, de modo que a medida que pasa el tiempo, se anota la altura del lodo y del

sobrenadante al cabo de 15 minutos se detuvo la prueba para graficar la curva de sedimentación (Curva de Kynch), ver las figuras 5.4.2.c.

Figura 5.4.2.c.
Cálculo de la Velocidad de sedimentación, se muestra la probeta de sedimentación para determinar la velocidad de sedimentación



Fuente: Autoría propia

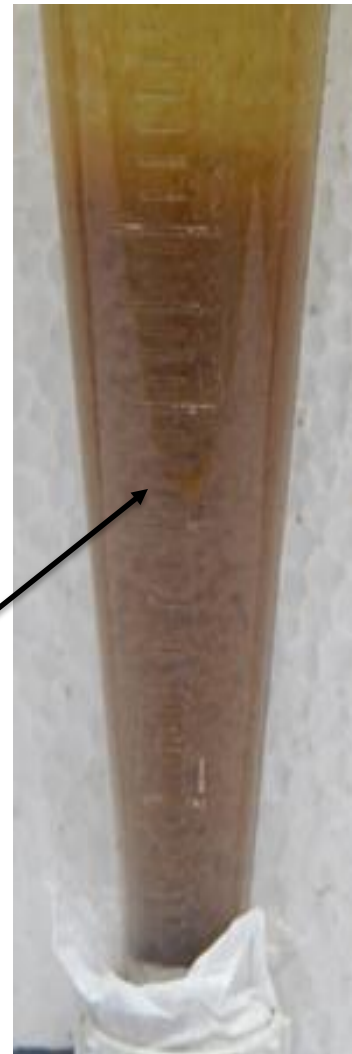
La velocidad de sedimentación está dada por la pendiente o tangente a la curva de sedimentación, (ver figura 5.4.2.c) obteniendo una la velocidad de **0.107 M/seg ó 6.42 M/hora**.

Por otro lado, se estimó el volumen de lodos ó volumen de solidos sedimentables al cabo de una hora, para ello se trasvaso un litro del efluente tratado en forma similar al requerido para la velocidad de sedimentación a un cono de Inhoff, encontrando el volumen de 10 mL/L, (ver las figuras 5.4.2.d. y 5.4.2.e)

Figura 5.4.2.d.



Figura 5.4.2.e.



Fuente: Elaboración propia

5.4.3. Diseño del sistema para el tratamiento fisicoquímico. - La planta de tratamiento estará diseñada para tratar un caudal equivalente al doble del promedio registrado, es decir de 187.5 L/hr, con capacidad total de 4.5 M³/día, que cubrirá alguna situación de emergencia o requerimiento futuro. Esta planta estará constituida de cuatro estructuras completamente definidas: una correspondiente a la unidad denominada Tanque de homogeneización, Unidad de mezcla rápida (coagulación) y mezcla lenta (floculador), ambas dentro cada uno de los dos Sedimentador Lamelar o de Placas, el primero para la etapa de acida (reducción de Cr⁺⁶ a Cr⁺³) y el segundo para la etapa básica (precipitación del Cr⁺³ y del Cr total) y finalmente el conjunto de bombas dosificadoras de los reactivos químicos.

a. Tanque de Homogeneización, debido a que la planta cuenta con una antigua Cisterna para almacenamiento de efluentes, se aprovechara la misma para acondicionarla y trabajar como tanque de Homogeneización, el mismo que ya ocupa un área dentro del local de la planta, aprovechando el área disponible para ubicar las nuevas estructuras de tal forma que se cuenta con el área para ubicar las unidades en forma continua, se ha diseñado las unidades teniendo en cuenta el área disponible.

El tanque de homogeneización ocupa un volumen de 5.8 M^3 , siendo el volumen útil de 4.5 M^3 , esta capacidad permite cubrir toda la demanda aproximada de la 8 horas de trabajo en situación normal, al trabajarse a caudal constante a partir de este tanque se puede predecir que de ponerse en servicio el tratamiento de los efluentes a partir de las 17:00 horas, entonces a las 8:00 hrs, del día siguiente han transcurrido 15 hrs, estimándose el contenido del tanque con 1312.5 Litros y un volumen de vacío 3187.5 Litros suficiente para recibir el efluente de la actividad de enjuague del día, el homogeneizador cumplirá la función de homogenizar las características de los efluentes previas a su neutralización y la principal de permitir que el Sedimentador trabaje a caudal constante, por lo que esta unidad actuara como una tanque de amortiguación, manteniendo una reserva de efluente cuando la fábrica no esté produciendo o el caudal de enjuague se halle por debajo del promedio, y por otro lado una capacidad de recepcionar caudales mayores del promedio que se presente.

El tanque de homogeneización, estará equipada de dos pequeñas electrobombas sumergibles de capacidad cada una de 187.5 L/hr. provistas con sistema de seguridad de flotadores, de modo que se mantendrá una operativa y la segunda en stand by, lo cual se podrá disponer en forma manual, el efluente se conducirá a través de tubería de PVC con diámetro de 1", antes de su acometida hacia el sedimentador se adicionara en la misma tubería el reactivo neutralizante, primero para el sedimentador que trabajara a pH ácido, que se dosificara solución de Ácido Clorhídrico y/o Cloruro férrico y otra para el segundo sedimentador que se le dosificara solución de Soda Caustica, en ambos sedimentadores, previos al ingreso,

el efluente ingresara a un pre tanque de mezcla rápida (Coagulación) en esta, se aplicará el polímero catiónico y el polímero aniónico, para luego ingresar a un tanque que cuente con placas deflectoras que permitirán la Floculación, para dirigirse las aguas así sedimentador.

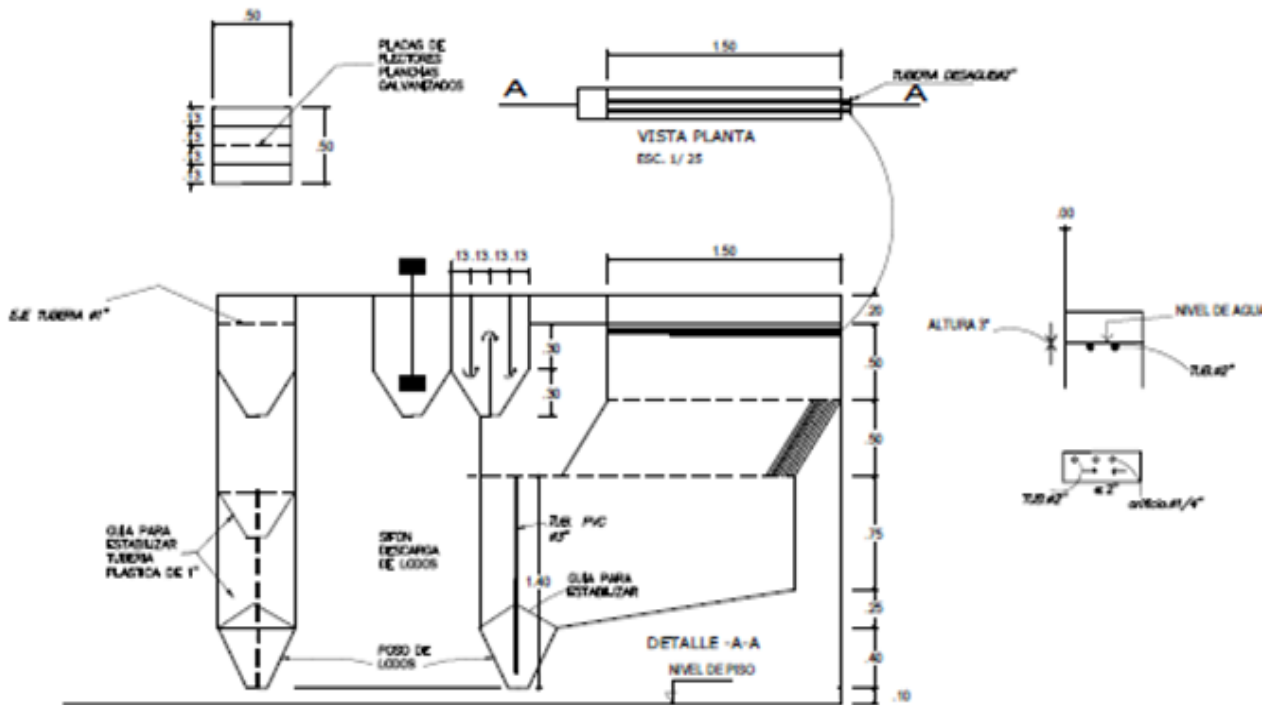
Se estima que el nivel de las aguas en el tanque de homogeneización cuando este se halle a volumen lleno será de – 0.45 m por debajo de la loza (piso de la sala de piscina galvánica - acotando como 0.0 m de referencia: **Ip**)

b. Sedimentador Lamelar.- Las aguas en el Sedimentador Lamelar, ver figura 5.4.3.f., se hallaran en el ingreso a +/- 2.50 m sobre el nivel de la losa del piso (**Ip**), así la descarga de los efluentes se efectuara por rebose a través del sistema de recolección tuberías sumergidas (diámetro de 2" de PVC, con perforaciones de 1/4" para el ingreso del efluente decantado, habrán dos tubos instalados a lo largo que se ubicara apenas semi sumergido dentro del decantador de placas, de modo que por rebose captara el efluente tratado, los cuales contendrán un mínimo residual cumpliendo con los VMA, los mismos que podrían recircularse para la operación de enjuague, reduciendo por consiguiente el consumo de agua y reduciendo el volumen de efluente derivado a la alcantarilla de SEDAPAL y ahorro en el consumo de agua.

La zona de clarificación en el sedimentador tendrá una profundidad de 1 metros, que incluye la altura del agua sobre las láminas y la altura de las mismas láminas este módulo o conjunto de láminas tendrá una inclinación ó pendiente de 60°. Debajo de las láminas se halla la zona lodos con una profundidad de 1.00 m, y por debajo de esta se hallaran la tolva para concentrar los lodos, cuya profundidad es de 0.40 m, estos lodos concentrados serán evacuados por acción de un sifón que se operar en forma manual a través de la tubería del sifón se podrá instalar una bandeja o deposito acompañado de tela filtrante para separar los lodos (solidos) de la parte liquida, esto sólidos una vez secos podrán ser dispuesto como residuos peligroso como si fueran solidos provenientes de las pozas de galvanizado. Se ha previsto sobre el nivel de las aguas dentro del

sedimentador de un Borde Libre del orden de 0.20 m por encima del nivel de agua (NA = 2.5 m). El efluente tratado se podrá conducir hacia el sumidero más próximo o alcantarillado existente para su disposición final a la red sanitaria de SEDAPAL.

Figura 5.4.3.f.
Vista del Sedimentador Lamelar



Fuente: Autoría Propia, Sedimentador lamelar, constituido de cámaras de Mezcla Rápida y Floculación

c. Sistema de dosificación de Reactivos de Neutralización-Coagulación - Floculación.- Estará constituido de cuadro bombas dosificadoras cada una con su respectivo tanque para almacenar y/o prepara la solución del reactivo a dosificar.

Para el caso de la solución de Ácido Clorhídrico o Cloruro Férrico, contara con tanque de 100 litros de capacidad de almacenamiento, construido en polietileno, la electrobomba dosificadora del tipo diafragma para graduar caudal de dosificación y línea de descarga a presión.

Para el caso de la solución de Soda Caustica, contara con tanque de 100 litros de capacidad de almacenamiento, construido en polietileno resistente, agitador de acero inoxidable con motor de 1/4" y línea de agua para preparar solución al 10 O 20% para su aplicación con electrobomba, la electrobomba

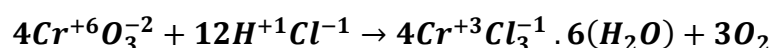
dosificadora del tipo diafragma para graduar caudal de dosificación y línea de descarga a presión.

Para el caso del polímero Catiónico, contara con un tanque de capacidad de 100 litros construido en polietileno y un agitador con motor eléctrico de $\frac{1}{2}$ " Hp y línea de agua para diluir el polímero catiónico. Electrobomba dosificadora para mediana viscosidad del tipo pistón o diafragma para aplicación a presión.

Para el caso del polielectrolito o polímero Aniónico, este contara con un tanque de 100 litros fabricado en polietileno, con línea de agua y agitador para preparar solución, cuya característica es su alta viscosidad al 0.1 %, para ello la electrobomba será de pistón o diafragma.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La presencia del Cromo de los efluentes de las industrias que cuentan con procesos galvánicos, se halla en su forma de Cr (VI), de modo que para su remoción se logra por la reducción de Cromo (VI) a Cromo (III) como se apreció en los resultados obtenidos en la Pruebas de Jarras, por lo que se tiene que llevar la solución primero a pH ácido, cerca de 2 unidades para transformar el Cr (VI) en Cr(III), lo que se consigue por la presencia del Ácido Clorhídrico, generando la reducción del Cromo, según la siguiente ecuación:



6.1. Pruebas de reducción con el efluente a nivel de las PJ.-, cuyos resultados se muestran en el punto 5.2. realizadas a pH de 2 unidades, (ver Figuras 6.1.a y 6.1.b) demuestran que es posible remover el Cromo total hasta 25.66%, es decir de 11.57 mg/L (Valor por encima de VMA) a 8.6 mg/L (valor que se halla menor a 10 mg/L = VMA), para el caso del Cobre y Plomo total se encontró una reducción de 45 % y 64.7 % respectivamente, es decir a los valores finales de 1.2 mg/L y 0.017 mg/l respectivamente es decir a valores que se hallan menores a los VMA exigidos por el DS N° 021-2009 – VIVIENDA.

Figura 6.1.a.



Figura 6.1.b.



La figura 6.1.a, muestra el efluente a pH 2, instante de dosificársele la dosis de reactivos, mientras la figura 6.1.b, al concluir el periodo de sedimentación.

6.2. Las pruebas para la reducción Cr(VI) a Cr(III).- a pH 2.00 hasta 25.66%, es decir de 11.57 mg/L (Valor por encima de VMA) a 8.6 mg/L (valor que se halla menor a 10 mg/L = VMA), y a pH 11.00 se logra alcanzar una remoción de 59.30%, logrando un total de remoción de 69.74 %, para el caso del Cobre y Plomo total se encontró una reducción de 98.25 % y 64.28 % respectivamente, es decir a los valores finales de 0.8 mg/L y 0.010 mg/l , a valores que se hallan menores a los VMA exigidos por el DS N° 021-2009 – VIVIENDA, ver la figura 6.2.

Figura 6.2.
El efluente tratado en la PJ a pH 11
al final de la sedimentación



La figura, corresponde a la remoción del Cr dentro de lo VMA

6.3. Características del efluente luego de la reducción del Cr(VI).- Corresponde, básicamente a la reducción del Cromo presente en el efluente, que permite reducirse el Cromo VI a Cromo III variando el pH de la solución o del efluente, como se muestra en la Tabla 17 que muestra la característica preliminar de la muestra puntual extraída, en el colector principal y de ahí la reducción de cada uno de los parámetros evaluados bajo las condiciones de pH y dosificación de los reactivos utilizados, ver tabla 6.3.

Tabla 18
Características del efluente después del tratamiento
fisicoquímico sometido bajo las condiciones de pH de 2 y 11
unidades

Parámetro	Unidad	Inicial	A pH 2.00	A pH 11.00
			Final	Final
Turbiedad	NTU	680	7.0	3.20
pH	Unidades	4.5	2	8.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	40.6	7.1	2.1
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	183.6	62.3	22.3
Cromo Total	mg/L	11.57	8.6	3.50
Cobre total	mg/L	2.22	1.2	0.8
Plomo Total	mg/L	0.028	0.017	0.010

En la tabla 18 se muestran los parámetros que exceden los VMA, contenidos en el efluente sin tratamiento, tales como, DBO₅, DQO, SST, Cr total, Cu total y Pb total. Debido a ello, se plantea la exigencia de tratar los efluentes para cumplir con alcanzar los VMA para aquellos parámetros que exceden estos previos a su disposición final, que es la alcantarilla o colector público, por ello se debe aplicar un tratamiento, del tipo fisicoquímico, para ello se simula el tratamiento a través de las pruebas de jarras, cuyos resultados se muestran en la columna denominada **A pH 2.00** de la tabla, lográndose estos valores en la Pruebas de Jarras luego de la dosificación óptima de los reactivos tales como:

- Dosis de Ácido Clorhídrico: 5 ml/L;
- Dosis de Sulfato de Aluminio Acido: 7 ml/L
- Dosis de Polímero Catiónico: 20 ppm
- Dosis de Polímero Aniónico dosis: 4ppm

Obteniéndose como resultado que todos los parámetros analizados se hallan por debajo de los VMA exigidos por el DS N° 021-2009 – VIVIENDA., no obstante, estos resultados y por otras experiencias se hizo necesario trabajar a pH 11.00 a fin de reducir el Cr VI a Cr III, siendo la dosis óptima como resultado de varias pruebas, el siguiente:

- Dosis de Soda Cautica: 3.5 ml/L;
- Dosis de Polímero Catiónico: 25 ppm

- Dosis de Polímero Aniónico dosis: 1ppm

Mostrándose los resultados en la columna denominada **A pH 11.00**, de la tabla 18 acondicionamiento bajo el protocolo de las pruebas de jarras, que permitió mejorar las condiciones del efluente para cada uno de los parámetros evaluados.

6.4. Otros resultados que demostraron la eficiencia del tratamiento fisicoquímico.- fue el aplicado directamente con muestras de efluentes y trabajadas en la propia planta, solo dosificando los reactivos a las muestras de efluentes contenidos en vasos de pírax y agitación manual, haciendo uso de baguetes de vidrio, se realizaron pruebas de tratamiento con muestras puntuales de efluentes, demostrando la capacidad del tratamiento, teniendo como resultados los que se aprecian en las figuras siguientes:

Figura 6.4.a



Figura 6.4.b.



La figura 6.4.a, se refiere a muestra puntual de efluente recolectado sin tratamiento, mientras la figura 6.4.b, se refiere a las mismas muestras ya dosificadas de reactivo químico, al primer vaso dosis de Cloruro férrico (FeCl_3) y al segundo dosis de Sulfato de aluminio ácido ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), en ambos casos se llegó a un pH de 2.00 unidades, la vista corresponde a los 30 minutos de sedimentación

Seguido de otras pruebas, en la que, a las muestras de los efluentes que se aprecian en los vasos de la figura 6.4.b. se les dosifica además polielectrolito aniónico en dosis de 2 ppm (figura 6.4.c), después de agitarse

manualmente se dejó reposar por espacio de 30 minutos, situación que se muestra en la figura 6.4.d.

Figura 6.4.c.



Figura 6.4.d.



Las figuras 6.4.e y 6.4.f, muestran en dos probetas de un litro el sobrenadante, extraído de cada uno de los vasos que se aprecian en la figura 6.4.d, que corresponden a las muestras que se les dosifico: al primer vaso Cloruro férrico, más polielectrolito aniónico, al segundo vaso se dosifico Sulfato de aluminio ácido, más polielectrolito aniónico, respectivamente

Figura 6.4.e.



Figura 6.4.f.



La figura 6.4.g, nos muestra la simulación con muestras del efluente, extraída en la misma planta, a la cual se dosifico Ácido clorhídrico, polielectrolito catiónico y aniónico (a pH de 2.00) el segundo vaso la muestra sobrenadante del tratamiento precedente ahora elevado el pH a 11 unidades con dosis de Soda Caustica y dosis de polielectrolito catiónico y aniónico, el tercer vaso es el sobrenadante obtenido del vaso precedente a pH de 7.5. Se observa que el último vaso prácticamente cumple con los VMA.

Figura 6.4.g
Simulación del tratamiento de los efluentes de una de las plantas galvánicas



Tabla 19
Características del efluente simulando el tratamiento fisicoquímico, bajo las condiciones de pH de 2 y 11 unidades

Parámetro	Unidad	Inicial	A pH 2.00	A pH 11.00
			Final	Final
pH	Unidades	4.5	2	8.00
Cromo Total	mg/L	14.413	7.935	3.77
Cromo Hexavalente	mg/L	8.00	1.93	0.35
Cobre total	mg/L	25.33	8.508	0.98
Plomo Total	mg/L	2.39	1.425	0.45

CONCLUSIONES

1. La remoción del Cr(VI) y Cr(III), presente en los efluentes de la industria galvánicas y otras que lo contengan, es posibles aplicando el tratamiento fisicoquímico, en dos etapas bien definidas, el primero se produce una reducción de Cr(VI) a Cr(III), en medio ácido (pH de 2 unidades), precipitándolo con la dosis de reactivos coagulantes y floculantes, el segundo se realiza en medio básico (pH de 11 unidades), en la que el Cr(III), es precipitado con otra segunda dosis de reactivos coagulantes y floculantes.
2. En el equipo de pruebas de jarras se puede simular del tratamiento fisicoquímico, con el mismo se pueden obtener los parámetros hidráulicos para el diseño del sistema de tratamiento para implementarlo al nivel de la Planta industrial.
3. Con respecto a la remoción del Cromo total y otros metales, los resultados obtenidos en el tratamiento fisicoquímico a condiciones de pH ácido de 2 y pH básico de 11 unidades respectivamente, como se detallan a continuación:

Parámetro	Unidad	Inicial	A pH 2.00	A pH 11.00
			Final	Final
Cromo Total	mg/L	11.57	8.6	3.50
Cobre total	mg/L	2.22	1.2	0.8
Plomo Total	mg/L	0.028	0.017	0.010

4. Como consecuencia de los resultados de la presente investigación, el sistema de tratamiento fisicoquímico para tratar los efluentes de la industria galvánica y de otras que contengan el Cr(VI) y Cr(III), estaría constituida de las siguientes unidades.
 - a. Tanque de homogeneización. Necesario para captar los efluentes generados, y que permita trabajar aguas abajo a caudal constante.
 - b. Unidad de tratamiento ácido. Donde se reciben los efluentes provenientes del homogeneizador, la unidad, esta constituido de un

Sedimentador del tipo Lamelar, el que incluye en su ingreso una cámara de mezcla rápida (agitador mecánico) seguido de cámara de floculación (floculación de pantalla), cuya salida directa del efluente floculado pasa al sedimentador propio, donde se separan los lodos conteniendo una variedad de otros metales presentes y propio Cr(VI), reducido a Cr(III).

- c. Unidad de tratamiento básico. Unidad que recibe los efluentes provenientes del primer sedimentados lamelar (pH ácido), esta de diseño similar al primero. Los efluentes ácidos previos a su ingreso son neutralizados hasta elevar el pH a 11 unidades, seguido de las dosis de los reactivos coagulantes y floculantes, pasando por las cámaras de mezcla rápida de floculación, respectivamente, seguido los efluentes floculados ingresan al sedimentador propio, donde se separan los lodos conteniendo los metales residuales el propio Cromo en du forma Cr(III).
- d. Las electrobombas dosificadoras de los reactivos neutralizante, para solución ácida y solución básica, de otro lado, las electrobombas para dosificar los reactivos coagulantes y floculantes.

RECOMENDACIONES

- A raíz de la presente investigación en la que tuvimos la necesidad de contratar los análisis de laboratorio a servicios de terceros, en razón de ello se recomienda, asegurar la implementación de un Laboratorio de Aguas en la FIARN, que permita afianzar la investigación de efluentes industriales que se generan en primer lugar en la Región del Callao y de ahí se irradie a nivel nacional, permitiendo incrementar los trabajos de investigación.
- A partir de la información obtenida en la presente investigación se deberá diseñar un prototipo o planta piloto del sistema planteado, pero en las dimensiones que se puedan instalar en la universidad y continuar con la investigación de tratamiento de efluentes, para trabajar con otras diferentes industrias que requieran resolver su problemática de disposición final de sus efluentes.
- Que se elabore el respectivo artículo de la investigación para su publicación.

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.
- 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**. Traducido de la novena edición. 7^{ta} Edición, Mexico: Mc Graw Hill Interamericana.
- G. Salas Carlotta, (2005); **“Reúso de cromo en el tratamiento de Efluentes de una curtiembre”**, Revista Peruana Química, Ingeniería Química, 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); **Biología 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.

Mercado Martínez, (2010), en su trabajo de investigación titulado: **En busca de la depuración de la materia orgánica: reactor fisicoquímico vs. reactor de electrocoagulación**. Cartagena – Colombia.

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 electroplanting**. 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.

Sampiere R. H., Collado C. C. & Baptista M. del Pilar (2006); **METODOLOGÍA de la Investigación**. Quinta edición, Impreso en México; Editorial Mc. Graw Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.

- Varsha, Y M, Naga Deepthi CH, Chenne S. (2011). **An emphasis on xenobiotic degradation in environmental clean-up.** Journal Bioremed Biodegrad S, 11(1): 1-10, 2011.
- APHA, AWWA & WPCF, (2005); Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater. 24 Edition USA.
- Arango Ruiz A, (2005); **La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales;** Revista Lasallista, vol. 2, núm. 1 enero-junio, 2005, pp 49-56. Corporación Universitaria Lasallista, Antioquia, Colombia.
- Arango Ruiz, A., & Garcés Giraldo, L. F. (2007). **Diseño de una celda de electrocoagulación.** Revista Universidad EAFIT, vol. 43, núm. 147. 2007 pp.56-67.
- Aguilar Ascon, E. A., (2015); **Evaluación de la eficiencia de una celda de electrocoagulación a escala laboratorio para el tratamiento de agua.** Lima.
- Baca Neglia M. F., (2012); **Tratamiento de los efluentes domésticos mediante Humedales Artificiales para el riego de áreas verdes en el Distrito de San Juan de Marcona.** Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Investigación y Docencia Universitaria, 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.
- Barboza Palomino, (2011), Tesis de Grado de Maestría: **Reducción de la carga contaminante de las aguas residuales de la planta de tratamiento de Totorá-Ayacucho empleando la técnica de electrocoagulación.** Repositorio de la Universidad Nacional de Ingeniería.

- Barco Ríos H., Rojas Calderón E. y Restrepo Parra E., (2012); **Física: Principios de Electricidad y Magnetismo**. Edit. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, Primera Edición. Colombia.
- Chang, R. (2007). **Química**. Traducido de la novena edición. 7^{ta} Edición, Mexico: Mc Graw Hill Interamericana Editores, S.A.
- Chen, G. (2004). **Electrochemical technologies in wastewater treatment.**, Journal Separation and Purification Technology. (2004) Vol. 38, pp 11-41.
- Comninellis, C. (2009). **Electrochemistry for the environment**. Ed. (2010) Springer, pp 1-26.
- Guanoluiza Llive, (2013), Tesis para obtener el título de Ingeniero Químico, titulado: **Dimensionamiento de un sistema de electrocoagulación aplicado al tratamiento de aguas residuales domésticas, con y sin irradiación de electrones acelerados**. Escuela Politécnica Nacional Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria. Quito – Ecuador.
- Diaz Carlos, et al., (2013), **Estudio de la Biosorción de Cromo (VI) con Qitosano Cuaternario Reticulado para su aplicación en Biorremediación de Aguas Contaminadas**. Revista de la Sociedad Química del Perú, 79, (4), 2013.
- Hernández Muñoz y Hernández Lehman, (1995); **Manual de Depuración Uralita**; Ed. Paraninfo S.A., 1^a Edición, Madrid.
- Holt P. K., Barton, Barton G. W. & Mitchell C. A., (2005). **The future for electrocoagulation as a localised water treatment technology**. Chemosphere.
- Prescott, Harley y Klein, (2008); **Microbiología**. Editorial Mc Graw Hill de España, séptima edición.
- Lara Borreo J.; (1999); **Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales**. Tesis de Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona España.

- Lazcano Carreño C., (2014); **Biotecnología ambiental de aguas y aguas residuales**. 1º Ed. Fondo Editorial de la UNMSM.
- López Yáñez A., (2015); **Diseño Óptimo de un Sistema de Tratamiento para la Remoción de Cromo Hexavalente Usando Reactores Electroquímicos Continuos**. Tesis de Maestría en Ingeniería de Procesos. Universidad Autónoma Metropolitana - Azcapotzalco
- Malvino A. P., (1999); **Principios de Electrónica**; 6ª Edición, Editorial Mc. Graw Hill/ Interamericana Editores, S.A. de C.V. España.
- Mercado Martínez, (2010), en su trabajo de investigación titulado: **En busca de la depuración de la materia orgánica: reactor fisicoquímico vs. reactor de electrocoagulación**. Cartagena – Colombia.
- Metcalf & Eddy; (1995); **Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización**, 3ª Ed. Mc. Graw Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V. España, Vol 1 y 2.
- Mollah M. et al.; (2004); **Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation**. Journal of Hazardous Materials (2004) vol. 34, N° 2, pp 199-210.
- Murgueito Erika, et al. (2015); **Remoción de Cromo (VI) a partir de Agua Sintética a Nivel de Laboratorio, mediante el uso de Hidróxidos Dobles Laminares (HDL)**. Revista de la Sociedad química del Perú, 81 (2), 2015.
- Netzahualt Muñoz A. R, et al.; (2010); **Estudio Cinético de la Remoción de Cromo Hexavalente y de Cromo Total por la Corteza del Árbol de Pirul.**, Revista Cubana de Química, vol. XXII, núm. 3, pp 3-8 Universidad de Oriente Santiago de Cuba, Cuba.
- Orozco Barrenechea C. et. al. (2004); **Contaminación Ambiental – Una visión desde la Química**; Ed. Thomson, España.
- Prescott, Harley y Klein (2008), **Microbiología**; Traducción de la 7ª edición en inglés, Editorial Mc. Graw Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V. - Impreso en Corea.

Rajeshwar K., & Ibanez J. (1997). **Environmental electrochemistry: fundamentals and applications in pollution abatement**. San Diego, California : Academic Pres Limited

Restrepo Mejía A., Arango Ruiz A. y Garcés Giraldo L.; (2006); **La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas**. Universidad Pontificia Bolivariana. (Producción + Limpia) pp 58-78.

Robles Mendoza & Lopez Bueno, (2017), en su tesis para optar el título de Ingeniero Civil, titulado: **Diseño de un prototipo para el tratamiento de aguas residuales domésticas basado en electrocoagulación**. Bogotá - Colombia.

Sampiere R. H., Collado C. C. & Baptista M. del Pilar (2006); **METODOLOGÍA de la Investigación**. Quinta edición, Impreso en México; Editorial Mc. Graw Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.

ANEXOS

Matriz de Consistencia.

SISTEMA DE TRATAMIENTO FISICOQUIMICO PARA LA REMOCION DEL CROMO EN EFLUENTES INDUSTRIALES PARA SU DISPOSICIÓN FINAL						
TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN						
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 Oxígeno (DQO) Y₃: Demanda Bioquímica de Oxígeno (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).

- **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.**

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias

**DECRETO SUPREMO
N° 004-2017-MINAM**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el numeral 22 del artículo 2 de la Constitución Política del Perú establece que toda persona tiene derecho a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida;

Que, de acuerdo a lo establecido en el artículo 3 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, en adelante la Ley, el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, entre otros, las normas que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la Ley;

Que, el numeral 31.1 del artículo 31 de la Ley, define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente; asimismo, el numeral 31.2 del artículo 31 de la Ley establece que el ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas, así como un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental;

Que, de acuerdo con lo establecido en el numeral 33.1 del artículo 33 de la Ley, la Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y Límites Máximos Permisibles (LMP) y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo;

Que, en virtud a lo dispuesto por el numeral 33.4 del artículo 33 de la Ley, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, de conformidad con lo establecido en el literal d) del artículo 7 del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización, y Funciones del Ministerio del Ambiente, este ministerio tiene como función específica elaborar los ECA y LMP, los cuales deberán contar con la opinión del sector correspondiente y ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM se aprueban los ECA para Agua y, a través del Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM, se aprueban las disposiciones para su aplicación;

Que, asimismo, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se modifican los ECA para Agua y se establecen disposiciones complementarias para su aplicación;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 331-2016-MINAM se crea el Grupo de Trabajo encargado de establecer medidas para optimizar la calidad ambiental, estableciendo como una de sus funciones específicas, el analizar y proponer medidas para mejorar la calidad ambiental en el país;

Que, en mérito del análisis técnico realizado se ha identificado la necesidad de modificar, precisar y unificar la normatividad vigente que regula los ECA para agua;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 072-2017-MINAM, se dispuso la prepublicación del proyecto normativo, en cumplimiento del Reglamento sobre Transparencia, Acceso a la Información Pública Ambiental y Participación y Consulta Ciudadana en Asuntos Ambientales, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2009-MINAM, y el artículo 14 del Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad,

publicación de Proyectos Normativos y difusión de Normas Legales de Carácter General, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2009-JUS; en virtud de la cual se recibieron aportes y comentarios al mismo;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8 del artículo 118 de la Constitución Política del Perú, así como el numeral 3 del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1.- Objeto de la norma

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros, que fueron aprobados por los referidos decretos supremos.

Artículo 2.- Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Apruébase los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 3.- Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

3.1 Categoría 1: Poblacional y recreacional

a) Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Entiéndase como aquellas aguas que, previo tratamiento, son destinadas para el abastecimiento de agua para consumo humano:

- A1. Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Entiéndase como aquellas aguas que, por sus características de calidad, reúnen las condiciones para ser destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano con simple desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A2. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional, mediante dos o más de los siguientes procesos: Coagulación, floculación, decantación, sedimentación, y/o filtración o procesos equivalentes; incluyendo su desinfección, de conformidad con la normativa vigente.

- A3. Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al abastecimiento de agua para consumo humano, sometidas a un tratamiento convencional que incluye procesos físicos y químicos avanzados como precloración, micro filtración, ultra filtración, nanofiltración, carbón activado, ósmosis inversa o procesos equivalentes establecidos por el sector competente.

b) Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo que se ubican en zonas marino costeras o continentales. La amplitud de las zonas marino costeras es variable y comprende la franja del mar entre el límite de la tierra hasta los 500 m de la línea paralela de baja marea. La amplitud de las zonas continentales es definida por la autoridad competente:

- B1. Contacto primario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de actividades como la natación, el esquí acuático, el buceo libre, el surf, el canotaje, la navegación en tabla a vela, la moto acuática, la pesca submarina o similares.

- B2. Contacto secundario

Entiéndase como aquellas aguas destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, para el desarrollo de deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.

3.2 Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales**a) Subcategoría C1: Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras**

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de moluscos (Ej.: ostras, almejas, choros, navajas, machas, conchas de abanico, palabrillas, mejillones, caracol, lapa, entre otros), equinodermos (Ej.: erizos y estrella de mar) y tunicados.

b) Subcategoría C2: Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas destinadas a la extracción o cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto. Esta subcategoría comprende a los peces y las algas comestibles.

c) Subcategoría C3: Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras

Entiéndase como aquellas aguas aledañas a las infraestructuras marino portuarias, actividades industriales o servicios de saneamiento como los emisarios submarinos.

d) Subcategoría C4: Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas

Entiéndase como aquellas aguas cuyo uso está destinado a la extracción o cultivo de especies hidrobiológicas para consumo humano.

3.3 Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales**a) Subcategoría D1: Riego de vegetales**

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales, las cuales, dependiendo de factores como el tipo de riego empleado en los cultivos, la clase de consumo utilizado (crudo o cocido) y los posibles procesos industriales o de transformación a los que puedan ser sometidos los productos agrícolas:

- Agua para riego no restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ej.: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares); cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión, donde el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto; parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales; o cualquier otro tipo de cultivo.

- Agua para riego restringido

Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su utilización en el riego de: cultivos alimenticios que se consumen cocidos (Ej.: habas); cultivos de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto (Ej.: árboles frutales); cultivos a ser procesados, envasados y/o industrializados (Ej.: trigo, arroz, avena y quinua); cultivos industriales no comestibles (Ej.: algodón), y; cultivos forestales, forrajes, pastos o similares (Ej.: maíz forrajero y alfalfa).

b) Subcategoría D2: Bebida de animales

Entiéndase como aquellas aguas utilizadas para bebida de animales mayores como ganado vacuno,

equino o camélido, y para animales menores como ganado porcino, ovino, caprino, cuyes, aves y conejos.

3.4 Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

a) Subcategoría E1: Lagunas y lagos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

b) Subcategoría E2: Ríos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

- Ríos de la costa y sierra

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Típacaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

- Ríos de la selva

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

c) Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos**- Estuarios**

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

- Marinos

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Precísese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermiales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reuso.

Artículo 4.- Asignación de categorías a los cuerpos naturales de agua

4.1 La Autoridad Nacional del Agua es la entidad encargada de asignar a cada cuerpo natural de agua las categorías establecidas en el presente Decreto Supremo atendiendo a sus condiciones naturales o niveles de fondo, de acuerdo al marco normativo vigente.

4.2 En caso se identifique dos o más posibles categorías para una zona determinada de un cuerpo natural de agua, la Autoridad Nacional del Agua define la categoría aplicable, priorizando el uso poblacional.

Artículo 5.- Los Estándares de Calidad Ambiental para Agua como referente obligatorio

5.1 Los parámetros de los ECA para Agua que se aplican como referente obligatorio en el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, se determinan considerando las siguientes variables, según corresponda:

a) Los parámetros asociados a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o la actividad productiva, extractiva o de servicios.

b) Las condiciones naturales que caracterizan el estado de la calidad ambiental de las aguas superficiales que no han sido alteradas por causas antrópicas.

c) Los niveles de fondo de los cuerpos naturales de agua; que proporcionan información acerca de las concentraciones de sustancias o agentes físicos,

químicos o biológicos presentes en el agua y que puedan ser de origen natural o antrópico.

d) El efecto de otras descargas en la zona, tomando en consideración los impactos ambientales acumulativos y sinérgicos que se presenten aguas arriba y aguas abajo de la descarga del efluente, y que influyan en el estado actual de la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua donde se realiza la actividad.

e) Otras características particulares de la actividad o el entorno que pueden influir en la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua.

5.2 La aplicación de los ECA para Agua como referente obligatorio está referida a los parámetros que se identificaron considerando las variables del numeral anterior, según corresponda, sin incluir necesariamente todos los parámetros establecidos para la categoría o subcategoría correspondiente.

Artículo 6.- Consideraciones de excepción para la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua

En aquellos cuerpos naturales de agua que por sus condiciones naturales o, por la influencia de fenómenos naturales, presenten parámetros en concentraciones superiores a la categoría de ECA para Agua asignada, se exceptúa la aplicación de los mismos para efectos del monitoreo de la calidad ambiental, en tanto se mantenga uno o más de los siguientes supuestos:

a) Características geológicas de los suelos y subsuelos que influyen en la calidad ambiental de determinados cuerpos naturales de aguas superficiales. Para estos casos, se demostrará esta condición natural con estudios técnicos científicos que sustenten la influencia natural de una zona en particular sobre la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, aprobados por la Autoridad Nacional del Agua.

b) Ocurrencia de fenómenos naturales extremos, que determina condiciones por exceso (inundaciones) o por carencia (sequías) de sustancias o elementos que componen el cuerpo natural de agua, las cuales deben ser reportadas con el respectivo sustento técnico.

c) Desbalance de nutrientes debido a causas naturales, que a su vez genera eutrofización o el crecimiento excesivo de organismos acuáticos, en algunos casos potencialmente tóxicos (mareas rojas). Para tal efecto, se debe demostrar el origen natural del desbalance de nutrientes, mediante estudios técnicos científicos aprobados por la autoridad competente.

d) Otras condiciones debidamente comprobadas mediante estudios o informes técnicos científicos actualizados y aprobados por la autoridad competente.

Artículo 7.- Verificación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua fuera de la zona de mezcla

7.1 En cuerpos naturales de agua donde se vierten aguas tratadas, la Autoridad Nacional del Agua verifica el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, entendida esta zona como aquella que contiene el volumen de agua en el cuerpo receptor donde se logra la dilución del vertimiento por procesos hidrodinámicos y dispersión, sin considerar otros factores como el decaimiento bacteriano, sedimentación, asimilación en materia orgánica y precipitación química.

7.2 Durante la evaluación de los instrumentos de gestión ambiental, las autoridades competentes consideran y/o verifican el cumplimiento de los ECA para Agua fuera de la zona de mezcla, en aquellos parámetros asociados prioritariamente a los contaminantes que caracterizan al efluente del proyecto o actividad.

7.3 La metodología y aspectos técnicos para la determinación de las zonas de mezcla serán establecidos por la Autoridad Nacional del Agua, en coordinación con el Ministerio del Ambiente y la autoridad competente.

Artículo 8.- Sistematización de la información

8.1 Las autoridades competentes de los tres niveles de gobierno, que realicen acciones de vigilancia, monitoreo, control, supervisión y/o fiscalización ambiental remitirán

al Ministerio del Ambiente la información generada en el desarrollo de estas actividades con relación a la calidad ambiental de los cuerpos naturales de agua, a fin de que sirva como insumo para la elaboración del Informe Nacional del Estado del Ambiente y para el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA).

8.2 La autoridad competente debe remitir al Ministerio del Ambiente la relación de aquellos cuerpos naturales de agua exceptuados de la aplicación del ECA para Agua, referidos en los literales a) y c) del artículo 6 del presente Decreto Supremo, adjuntando el sustento técnico correspondiente.

8.3 El Ministerio del Ambiente establece los procedimientos, plazos y los formatos para la remisión de la información.

Artículo 9.- Refrendo

El presente Decreto Supremo es refrendado por la Ministra del Ambiente, el Ministro de Agricultura y Riego, el Ministro de Energía y Minas, la Ministra de Salud, el Ministro de la Producción y el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

Primera.- Aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados

La aplicación de los ECA para Agua en los instrumentos de gestión ambiental aprobados, que sean de carácter preventivo, se realiza en la actualización o modificación de los mismos, en el marco de la normativa vigente del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA). En el caso de instrumentos correctivos, la aplicación de los ECA para Agua se realiza conforme a la normativa ambiental sectorial.

Segunda.- Del Monitoreo de la Calidad Ambiental del Agua

Las acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua debe realizarse de acuerdo al Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua.

Tercera.- Métodos de ensayo o técnicas analíticas

El Ministerio del Ambiente, en un plazo no mayor a seis (6) meses contado desde la vigencia de la presente norma, establece los métodos de ensayo o técnicas analíticas aplicables a la medición de los ECA para Agua aprobados por la presente norma, en coordinación con el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) y las autoridades competentes.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS TRANSITORIAS

Primera.- Instrumento de gestión ambiental y/o plan integral en trámite ante la Autoridad Competente

Los titulares que antes de la fecha de entrada en vigencia de la norma, hayan iniciado un procedimiento administrativo para la aprobación del instrumento de gestión ambiental y/o plan integral ante la autoridad competente, tomarán en consideración los ECA para Agua vigentes a la fecha de inicio del procedimiento.

Luego de aprobado el instrumento de gestión ambiental por la autoridad competente, los titulares deberán considerar lo establecido en la Primera Disposición Complementaria Final, a efectos de aplicar los ECA para Agua aprobados mediante el presente Decreto Supremo.

Segunda.- De la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas

Para la autorización de vertimiento de aguas residuales tratadas, la Autoridad Nacional del Agua, tomará en cuenta los ECA para Agua considerados en la aprobación del instrumento de gestión ambiental correspondiente.

Tercera.- De la aplicación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en cuerpos naturales de agua no categorizados

En tanto la Autoridad Nacional del Agua no haya asignado una categoría a un determinado cuerpo natural de agua, se debe aplicar la categoría del

recurso hídrico al que este tributa, previo análisis de dicha Autoridad.

**DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA
DEROGATORIA**

Única.- Derogación de normas referidas a Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Derógase el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los seis días del mes de junio del año dos mil diecisiete.

PEDRO PABLO KUCZYNSKI GODARD
Presidente de la República

JOSÉ MANUEL HERNÁNDEZ CALDERÓN
Ministro de Agricultura y Riego

ELSA GALARZA CONTRERAS
Ministra del Ambiente

GONZALO TAMAYO FLORES
Ministro de Energía y Minas

PEDRO OLACHEA ÁLVAREZ-CALDERÓN
Ministro de la Producción

PATRICIA J. GARCÍA FUNEGRA
Ministra de Salud

EDMER TRUJILLO MORI
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

Categoría 1: Poblacional y Recreacional

Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	(µS/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antropico	Ausencia de material flotante de origen antropico	Ausencia de material flotante de origen antropico
Nitritos (NO ₂) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO ₃) (d)	mg/L	3	3	**
Amoníaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 - 8,5	5,5 - 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Agua que pueden ser potabilizadas con desinfección	Agua que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Agua que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Níquel	mg/L	0,07	**	**
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05
Selenio	mg/L	0,04	0,04	0,05
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02
Zinc	mg/L	3	5	5
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C ₉ - C ₃₀)	mg/L	0,01	0,2	1,0
Trihalometanos	(e)	1,0	1,0	1,0
Bromoformo	mg/L	0,1	**	**
Cloroformo	mg/L	0,3	**	**
Dibromoclorometano	mg/L	0,1	**	**
Bromodiclorometano	mg/L	0,06	**	**
I. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES				
1,1,1-Tricloroetano	mg/L	0,2	0,2	**
1,1-Dicloroetano	mg/L	0,03	**	**
1,2-Dicloroetano	mg/L	0,03	0,03	**
1,2-Diclorobenceno	mg/L	1	**	**
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	**
Tetracloroetano	mg/L	0,04	**	**
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,004	0,004	**
Tricloroetano	mg/L	0,07	0,07	**
BTEX				
Benceno	mg/L	0,01	0,01	**
Etilbenceno	mg/L	0,3	0,3	**
Tolueno	mg/L	0,7	0,7	**
Xilenos	mg/L	0,5	0,5	**
Hidrocarburos Aromáticos				
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0007	0,0007	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,009	0,009	**
Organofosforados				
Maleción	mg/L	0,19	0,0001	**
Organoclorados				
Aldrin + Dieldrin	mg/L	0,0003	0,0003	**
Clordano	mg/L	0,0002	0,0002	**
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	mg/L	0,001	0,001	**
Endrin	mg/L	0,0006	0,0006	**
Heptacloro + Heptacloro Epóxido	mg/L	0,0003	0,0003	**
Lindeno	mg/L	0,002	0,002	**
Carbamato				
Aldicarb	mg/L	0,01	0,01	**
II. CIANOTOXINAS				
Microcistina-LR	mg/L	0,001	0,001	**
III. BIFENILOS POLICLORADOS				
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,0005	0,0005	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS				
Coliformes Totales	NMP/100 ml	50	**	**
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	20	2 000	20 000
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**	**
Escherichia coli	NMP/100 ml	0	**	**
Vibrio cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Organismos de vida libre (algas, protozoos, copepodos, rotíferos, nematodos, en todos sus estadios evolutivos) (f)	N° Organismo/L	0	<5x10 ⁶	<5x10 ⁶

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃⁻).

(d) En el caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitritos-N (NO_2^- -N), multiplicar el resultado por el factor 3,28 para expresarlo en unidades de Nitritos (NO_2^-).

(e) Para el cálculo de los Trihalometanos, se obtiene a partir de la suma de los cocientes de la concentración de cada uno de los parámetros (Bromoformo, Cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano), con respecto a sus estándares de calidad ambiental; que no deberán exceder el valor de 1 de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\frac{C_{\text{cloroformo}}}{E_{\text{CAcloroformo}}} + \frac{C_{\text{dibromoclorometano}}}{E_{\text{CADibromoclorometano}}} + \frac{C_{\text{bromodichlorometano}}}{E_{\text{CABromodichlorometano}}} + \frac{C_{\text{bromoformo}}}{E_{\text{CABromoformo}}} \leq 1$$

Dónde:

C= concentración en mg/L y

ECA= Estándar de Calidad Ambiental en mg/L (Se mantiene las concentraciones del Bromoformo, cloroformo, Dibromoclorometano y Bromodichlorometano).

(f) Aquellos organismos microscópicos que se presentan en forma unicelular, en colonias, en filamentos o pluricelulares. $\Delta 3$: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 1:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
FÍSICOS- QUÍMICOS			
Aceites y Grasas	mg/L	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	**
Color	Color verdadero Escala Pt/Co	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	5	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	30	50
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	Ausencia de espuma persistente
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Nitratos (NO_3^- -N)	mg/L	10	**
Nitritos (NO_2^- -N)	mg/L	1	**
Olor	Factor de dilución a 25° C	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,0 a 9,0	**
Sulfuros	mg/L	0,05	**
Turbiedad	UNT	100	**
INORGÁNICOS			
Aluminio	mg/L	0,2	**
Antimonio	mg/L	0,006	**
Arsénico	mg/L	0,01	**
Berio	mg/L	0,7	**

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Berio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Niquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	N° Organismo/L	0	**
Giardia duodenalis	N° Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
Salmonella spp	Presencia/100 ml	0	0
Vibrio cholerae	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

Nota 2:

- UNT: Unidad Nefelométrica de Turbiedad.
- NMP/100 ml: Número más probable en 100 ml.
- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
FÍSICOS- QUÍMICOS					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wied	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitrosos (NO ₂ -) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 - 8,5	6,8 - 8,5	6,8 - 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	80	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
INORGÁNICOS					
Amoniaco Total (NH ₃)	mg/L	**	**	**	(1)
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Niquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Telurio	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
ORGÁNICO					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
Bifenilos Policlorados					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
ORGANOLÉPTICO					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
MICROBIOLÓGICO					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (área restringida) (d)			

(a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b) Después de la filtración simple.

(c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₃-).

(d) **Área Aprobada:** Áreas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos seguros para el comercio directo y consumo, libres de contaminación fecal humana o animal, de organismos patógenos o cualquier sustancia deletérea o venenosa y potencialmente peligrosa.

Área Restringida: Áreas acuáticas impactadas por un grado de contaminación donde se extraen moluscos bivalvos seguros para consumo humano, luego de ser depurados.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 3:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

(1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoniaco Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃).

Tabla N° 1: Estándar de calidad de Amoníaco Total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃)

Temperatura (°C)	pH								
	8	8,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0	
0	231	73,0	23,1	7,32	2,33	0,749	0,250	0,042	
5	153	48,3	15,3	4,84	1,54	0,502	0,172	0,034	
10	102	32,4	10,3	3,26	1,04	0,343	0,121	0,029	
15	69,7	22,0	6,98	2,22	0,715	0,239	0,089	0,026	
20	48,0	15,2	4,82	1,54	0,499	0,171	0,067	0,024	
25	33,5	10,6	3,37	1,08	0,354	0,125	0,053	0,022	
30	23,7	7,59	2,39	0,767	0,258	0,094	0,043	0,021	

Nota:

(*)El estándar de calidad de Amoníaco total en función de pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 6 a 10 y Temperatura de 0 a 30°C. Para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.

(**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoníaco-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1,22 para expresarlo en las unidades de Amoníaco (NH₃).

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS-QUÍMICOS				
Acetatos y Gases	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Volátil	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala PH Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(µS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitritos (NO ₂ -N) + Nitratos (NO ₃ -N)	mg/L	100		100
Nitratos (NO ₃ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 - 8,5		6,5 - 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Berio	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
ORGÁNICO				
Bifenilos Policlorados				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
PLAGUICIDAS				
Paratión	µg/L	35		35
Organoclorados				
Aldrin	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difetil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrin	µg/L	0,5		0,5
Endosulfan	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4
Carbamato				
Aldicarb	µg/L	1		11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
Escherichia coli	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

(a): Para aguas claras. Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).

(b): Después de filtración simple.

(c): Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, sólo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 4:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.

- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.

of:Ba

Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0062	0,0062	0,0062	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(μ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitritos (NO ₂) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 - 8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0682	0,0682
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antreceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluorenteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paraatión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036



Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000036	0,000036
Lindeno	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Perilclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

- (a) 100 (para aguas claras). Sin cambio anormal (para aguas que presentan coloración natural).
- (b) Después de la filtración simple.
- (c) En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Nitratos-N (NO₃-N), multiplicar el resultado por el factor 4.43 para expresarlo en las unidades de Nitratos (NO₂-N).
- Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.

Nota 5:

- El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para esta Subcategoría.
- Los valores de los parámetros se encuentran en concentraciones totales, salvo que se indique lo contrario.
- (1) Aplicar la Tabla N° 1 sobre el estándar de calidad de concentración de Amoniac Total en función del pH y temperatura para la protección de la vida acuática en agua dulce (mg/L de NH₃) que se encuentra descrita en la Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.
- (2) Aplicar la Tabla N° 2 sobre Estándar de calidad de Amoniac Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH₃).

Tabla N° 2: Estándar de calidad de Amoniac Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios (mg/L de NH₃)

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
Salinidad 10 g/kg								
7,0	41,00	29,00	20,00	14,00	9,40	5,60	4,40	3,10
7,2	26,00	18,00	12,00	8,70	5,90	4,10	2,80	2,00
7,4	17,00	12,00	7,80	5,30	3,70	2,60	1,80	1,20
7,6	10,00	7,20	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,84
7,8	6,60	4,70	3,10	2,20	1,50	1,10	0,75	0,53
8,0	4,10	2,90	2,00	1,40	0,97	0,69	0,47	0,34
8,2	2,70	1,80	1,30	0,87	0,62	0,44	0,31	0,23
8,4	1,70	1,20	0,81	0,56	0,41	0,29	0,21	0,16
8,6	1,10	0,75	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11
8,8	0,69	0,50	0,34	0,25	0,18	0,14	0,11	0,08
9,0	0,44	0,31	0,23	0,17	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 20 g/kg								
7,0	44,00	30,00	21,00	14,00	9,70	5,60	4,70	3,10
7,2	27,00	19,00	13,00	9,00	6,20	4,40	3,00	2,10
7,4	18,00	12,00	8,10	5,60	4,10	2,70	1,90	1,30
7,6	11,00	7,50	5,30	3,40	2,50	1,70	1,20	0,84
7,8	6,90	4,70	3,40	2,30	1,60	1,10	0,78	0,53
8,0	4,40	3,00	2,10	1,50	1,00	0,72	0,50	0,34
8,2	2,80	1,90	1,30	0,94	0,66	0,47	0,31	0,24
8,4	1,80	1,20	0,84	0,59	0,44	0,30	0,22	0,16
8,6	1,10	0,78	0,56	0,41	0,28	0,20	0,15	0,12
8,8	0,72	0,50	0,37	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08
9,0	0,47	0,34	0,24	0,18	0,13	0,10	0,08	0,07
Salinidad 30 g/kg								
7,0	47,00	31,00	22,00	15,00	11,00	7,20	5,00	3,40
7,2	29,00	20,00	14,00	9,70	6,60	4,70	3,10	2,20
7,4	19,00	13,00	8,70	5,90	4,10	2,90	2,00	1,40
7,6	12,00	8,10	5,60	3,70	3,10	1,80	1,30	0,90
7,8	7,50	5,00	3,40	2,40	1,70	1,20	0,81	0,56

pH	Temperatura (°C)							
	0	5	10	15	20	25	30	35
8,0	4,70	3,10	2,20	1,60	1,10	0,75	0,53	0,37
8,2	3,00	2,10	1,40	1,00	0,69	0,50	0,34	0,25
8,4	1,90	1,30	0,90	0,62	0,44	0,31	0,23	0,17
8,6	1,20	0,84	0,59	0,41	0,30	0,22	0,16	0,12
8,8	0,78	0,53	0,37	0,27	0,20	0,15	0,11	0,09
9,0	0,50	0,34	0,26	0,19	0,14	0,11	0,08	0,07

Notas:

- (*)El estándar de calidad de Amoniac Total en función del pH, la temperatura y la salinidad para la protección de la vida acuática en agua de mar y estuarios, presentan una tabla de valores para rangos de pH de 7,0 a 9,0, Temperatura de 0 a 35°C, y Salinidades de 10, 20 y 30 g/ kg. Para comparar la Salinidad de las muestras de agua superficial, se deben tomar la salinidad próxima inferior (30, 20 o 10) al valor obtenido en la muestra, ya que la condición más extrema se da a menor salinidad. Asimismo, para comparar la temperatura y pH de las muestras de agua superficial, se deben tomar la temperatura y pH próximo superior al valor obtenido en campo, ya que la condición más extrema se da a mayor temperatura y pH. En tal sentido, no es necesario establecer rangos.
- (**)En caso las técnicas analíticas determinen la concentración en unidades de Amoniac-N (NH₃-N), multiplicar el resultado por el factor 1.22 para expresarlo en las unidades de Amoniac (NH₃).


NOTA GENERAL:

- Para el parámetro de Temperatura el símbolo Δ significa variación y se determinará considerando la media histórica de la información disponible en los últimos 05 años como máximo y de 01 año como mínimo, considerando la estacionalidad.
- Los valores de los parámetros están referidos a la concentración máxima, salvo que se precise otra condición.
- Los reportes de laboratorio deberán contemplar como parte de sus informes de Ensayo los Límites de Cuantificación y el Límite de Detección.

1529835-2

Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA: Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.-

El Peruano
Lima, viernes 20 de noviembre de 2009

 **NORMAS LEGALES**

406305

Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario

DECRETO SUPREMO
N° 021-2009-VIVIENDA

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el Artículo 2° de la Ley N° 27792, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, establece que es competencia del Ministerio, formular, aprobar, ejecutar y supervisar las políticas de alcance nacional aplicables en materia de vivienda, urbanismo, construcción y saneamiento, correspondiéndole por tanto dictar normas de alcance nacional y supervisar su cumplimiento;

Que, asimismo el literal a) del Artículo 8° del Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2002-VIVIENDA, establece que el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento diseña, norma y ejecuta la política nacional y acciones del sector en materia de vivienda, urbanismo, construcción y saneamiento;

Que, la Ley N° 26338, Ley General de Servicios de Saneamientos, en adelante la Ley General, ha declarado que dichos servicios son de necesidad y utilidad pública y de preferente interés nacional, cuya finalidad es proteger la salud de la población y el ambiente;

Que, el Artículo 15° de la Ley General, establece que los usuarios de los servicios de saneamiento tienen la obligación de hacer uso adecuado de dichos servicios, no dañar la infraestructura correspondiente y cumplir con las normas que los Reglamentos de las entidades prestadoras establezcan; asimismo dispone que el daño o la depredación de los equipos e instalaciones de los servicios de saneamiento; así como el uso indebido de los mismos serán sancionados en la forma que establezca el Reglamento de la Ley General y las disposiciones que para el efecto dicte la Superintendencia, sin perjuicio de la responsabilidad penal que tuviese el infractor.

Que, mediante Decreto Supremo N° 023-2005-VIVIENDA se aprobó el Texto Único Ordenado del Reglamento de la Ley General de Servicios de Saneamiento, en adelante el TUO del Reglamento;

Que, el literal g) del Artículo 56° del TUO del Reglamento establece como derecho de las EPS suspender el servicio de alcantarillado sanitario cuando las características de los efluentes industriales que se vierten en él, no cumplan con los límites máximos permisibles establecidos en la normatividad vigente, quedando la EPS facultada para cobrar por los gastos incurridos en la suspensión y reposición de dicho servicio; por otro lado el literal h) del mismo artículo dispone que en casos especiales las EPS pueden cobrar el costo adicional por las cargas en el sistema de alcantarillado que superen los límites establecidos por cada EPS en su Reglamento de Prestación de Servicios, indicando que dicho costo adicional será considerado como un servicio colateral;

Que, el tercer párrafo del Artículo 79° de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, establece que corresponde a la autoridad sectorial competente la autorización y el control de las descargas de agua residual a los sistemas de drenaje urbano o alcantarillado;

Que, las descargas de aguas residuales no domésticas en la red de alcantarillado sanitario contienen concentraciones elevadas de sustancias contaminantes o tóxicas que deben ser reguladas, controladas y fiscalizadas, a fin de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos, disminuyendo los costos de su operación y mantenimiento, y evitando el deterioro de los procesos de tratamiento de las aguas residuales;

Que, por otro lado la presencia de sustancias nocivas en concentraciones elevadas en las aguas residuales que descargan a las redes de alcantarillado pone en peligro la salud de los seres humanos;

Que, es necesario regular las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, a fin de evitar el deterioro y asegurar el adecuado funcionamiento de los sistemas de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales, garantizando la sostenibilidad del tratamiento de las aguas residuales, estableciendo y aprobando para este caso Valores Máximos Admisibles (VMA) en lugar de Límites Máximos Permisibles, pues estos últimos son parámetros de orden ambiental que se aplican a las descargas de efluentes en cuerpos receptores y tiene influencia en el ecosistema y el ambiente;

Que, en ese sentido resulta necesario modificar e incorporar las disposiciones pertinentes establecidas en el TUO del Reglamento de la Ley General a fin de concordar la nomenclatura y definición de los VMA;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del Artículo 118° de la Constitución Política del Perú, Leyes N° 26338, N° 27792, N° 29338, Decreto Supremo N° 023-2005-VIVIENDA y sus modificatorias, y demás normas pertinentes.

DECRETA:

Artículo 1°.- Finalidad, Ámbito de aplicación y obligatoriedad de la norma

La presente norma regula mediante Valores Máximos Admisibles (VMA) las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario a fin de evitar el deterioro de las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias, equipos y asegurar su adecuado funcionamiento, garantizando la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales.

Los Valores Máximos Admisibles (VMA) son aplicables en el ámbito nacional y son de obligatorio cumplimiento para todos los usuarios que efectúen descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario; su cumplimiento es exigible por las entidades prestadoras de servicios de saneamiento - EPS, o las entidades que hagan sus veces.

Artículo 2°.- Aprobación de Valores Máximos Admisibles (VMA) para el sector saneamiento

Apruébese los Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario, establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 que forman parte integrante de la presente norma.

Los usuarios cuyas descargas sobrepasen los valores contenidos en el Anexo N° 1, deberán pagar la tarifa establecida por el ente competente, la cual es complementaria al reglamento de la presente norma, pudiéndose llegar en los casos que se establezca en el reglamento, incluso a la suspensión del servicio de alcantarillado sanitario.

Los parámetros contenidos en el Anexo N° 2 no pueden ser sobrepasados. En caso se sobrepase dichos parámetros, el usuario será sujeto de suspensión del servicio.

Artículo 3°.- Definición de Valores Máximos Admisibles (VMA)

Entiéndase por Valores Máximos Admisibles (VMA) como aquel valor de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos y/o químicos, que caracterizan a un efluente no doméstico que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a las instalaciones, infraestructura sanitaria, maquinarias y equipos de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

Artículo 4°.- Pago por exceso de concentración en la descarga de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario

Las EPS o las que hagan sus veces, podrán cobrar a los usuarios no domésticos el pago adicional, de acuerdo a la normatividad vigente, correspondiente al excesp de concentración de los parámetros: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de


94

Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Aceites y Grasas (AyG), medidos en la caja de registro de la red de alcantarillado o un dispositivo adecuado para este proceso, conforme al procedimiento que se establecerá en el Reglamento de la presente norma.

La metodología para la determinación de los pagos adicionales por exceso de concentración respecto de los valores máximos admisibles, será elaborada y aprobada por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento - SUNASS, en un plazo no mayor de la fecha de entrada en vigencia del Reglamento de la presente norma. Dicha metodología deberá ser incorporada en el Reglamento de Prestación de Servicios correspondiente a cada EPS o las entidades que hagan sus veces.

Artículo 5°.- Suspensión del Servicio de Alcantarillado

Las EPS o las entidades que hagan sus veces se encuentran facultadas en virtud de la presente norma a imponer el cobro de tarifas aprobadas por la SUNASS e incluso disponer la suspensión del servicio de descargas al sistema de alcantarillado en los casos que se regulen en el reglamento y que deriven de la vulneración de los anexos N°1 y N°2.

Artículo 6°.- Caso fortuito o fuerza mayor

Cuando por caso fortuito o fuerza mayor el usuario no doméstico efectúe descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario superando los Valores Máximos Admisibles (VMA) establecido en el Anexo N° 2 de la presente norma, las EPS o las entidades que hagan sus veces, evaluarán si procede exonerar temporalmente al usuario no doméstico de los alcances del artículo 5°, de acuerdo a lo establecido en el reglamento de la presente norma.

Artículo 7°.- Control de las aguas residuales no domésticas

El monitoreo de la concentración de parámetros de descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario, estará a cargo de las EPS o las entidades que hagan sus veces, contando para ello con la participación de laboratorios debidamente acreditados ante INDECOPI. Los pagos deberán ser asumidos por el usuario no doméstico de acuerdo al procedimiento que el ente competente establecerá concordante con la presente norma. La recolección de las muestras será realizada de manera inopinada, conforme al procedimiento establecido en el reglamento de la presente norma.

Artículo 8°.- Actualización de los VMA

El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento se encuentra autorizado a modificar los Valores Máximos Admisibles a través de una Resolución Ministerial. Para tal efecto, la Dirección Nacional de Saneamiento, evaluará y, de ser el caso, sustentará la modificación y actualización de los parámetros de los Valores Máximos Admisibles, señalados en los Anexos N° 1 y N° 2, previo análisis y estudio efectuado por las EPS o las entidades que hagan sus veces, de acuerdo a la caracterización del tipo de descarga no doméstica vertida a los sistemas de alcantarillado.

Artículo 9°.- Prohibiciones

Queda totalmente prohibido descargar directa o indirectamente a los sistemas de alcantarillado aguas residuales o cualquier otro tipo de residuos sólidos, líquidos o gaseosos que en razón de su naturaleza, propiedades y cantidad causen por sí solos o por interacción con otras descargas algún tipo de daño, peligro e inconveniente en las instalaciones de los sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales según lo indicado en el Reglamento de la presente norma.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS FINALES

PRIMERA.- La presente norma entrará en vigencia conjuntamente con la aprobación de su Reglamento, el cual será elaborado por el Ministerio de Vivienda,

Construcción y Saneamiento en un plazo máximo de trescientos sesenta y cinco (365) días calendario, contados a partir de la publicación de la presente en el Diario Oficial El Peruano.

SEGUNDA.- Los usuarios que a la fecha de entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, se encuentren efectuando descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario, deberán adecuar sus descargas a las disposiciones establecidas en la presente norma, en un plazo no mayor de cinco (05) años.

En el caso de nuevos usuarios del sistema de alcantarillado sanitario las disposiciones de la presente norma serán de aplicación inmediata.

TERCERA.- El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, mediante Resolución Ministerial, aprobará las normas complementarias que sean necesarias, para la aplicación e implementación del presente Decreto Supremo.

CUARTA.- El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS MODIFICATORIAS

ÚNICA.- Modifíquense los literales g) y h) del Artículo 56° del Texto Único Ordenado del Reglamento de la Ley General de Servicios de Saneamiento, aprobado por Decreto Supremo N° 023-2005-VIVIENDA y sus modificatorias, con el texto siguiente:

Artículo 56°.- Son derechos de la EPS:

(...)

g) Suspender el servicio de alcantarillado sanitario cuando las características de los efluentes no domésticos que se vierten en él, no cumplan con los Valores Máximos Admisibles (VMA) establecidos en la normatividad vigente. Las EPS o las entidades que hagan sus veces, quedan facultadas para cobrar por los gastos incurridos en la suspensión y reposición de dicho servicio.

h) Cobrar el costo adicional por las cargas contaminantes descargados en el sistema de alcantarillado que superen los Valores Máximos Admisibles (VMA) establecidos por la normatividad vigente. Dicho pago adicional será incorporado en el Reglamento de Prestación de Servicios de cada EPS o las entidades que hagan sus veces.

DISPOSICIONES COMPLEMENTARIAS DEROGATORIAS

ÚNICA.- Deróguense todas las normas que se opongan al presente Decreto Supremo.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima a los diecinueve días del mes de noviembre del año dos mil nueve.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JUAN SARMIENTO SOTO
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO N° 01

PARAMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	DBO ₅	500
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	DQO	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	S.S.T.	500
Aceites y grasas	mg/L	A y G	100

ANEXO N° 02

Valores Máximos Admisibles (1)

PARAMETRO	UNIDAD	EXPRESIÓN	VMA PARA DESCARGAS
			AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0.5
Boro	mg/L	B	4
Cadmio	mg/L	Cd	0.2
Cianuro	mg/L	CN	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr ⁶⁺	0.5
Cromo total	mg/L	Cr	10
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0.02
Níquel	mg/L	Ni	4
Plomo	mg/L	Pb	0.5
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ²⁻	500
Sulfuros	mg/L	S ²⁻	5
Zinc	mg/L	Zn	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	NH ⁴⁺	80
pH (2)	unidad	pH	6-9
Sólidos Sedimentables (2)	ML/h	S.S.	8.5
Temperatura(2)	°C	T	-35

- (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.
- (2) Estos parámetros, serán tomados de muestras puntuales. El valor de los demás parámetros, serán determinados a partir del análisis de una muestra compuesta.



APENDICE

FIGURAS:

Figura 4.1. Equipo de Pruebas de Jarras



Fuente: Autoría propia