

**ESTUDIO DE LA BIOADSORCIÓN DE NIQUEL CON ADSORBENTE DE MAÍZ EN AGUAS
RESIDUALES PROVENIENTES DE UNA INDUSTRIA DE GALVANOTÉCNICA**

MARY JANETH GARZÓN GUTIÉRREZ

Bióloga

Universidad de Cundinamarca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Departamento de Posgrados

Maestría en Ciencias Ambientales

Fusagasugá

2020

**ESTUDIO DE LA BIOADSORCIÓN DE NIQUEL CON ADSORBENTE DE MAÍZ EN AGUAS
RESIDUALES PROVENIENTES DE UNA INDUSTRIA DE GALVANOTECNÍA**

Mary Janeth Garzón Gutiérrez

Bióloga

**Trabajo de grado como requisito para optar el título de Magister en Ciencias
Ambientales**

Director

Ing. Carlos Miguel Torrado Cuellar

MSc Ingeniería Sanitaria y Ambiental

Universidad de Cundinamarca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Departamento de Posgrados

Maestría en Ciencias Ambientales

Fusagasugá

2020

Nota de aceptación

Firma de Jurados

Presidente del Jurado

Primer Jurado

Segundo Jurado

Fusagasugá, 5 de octubre de 2020

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado lo quiero dedicar:

A Dios, por brindarme la fortaleza para seguir en los momentos de confusión.

A mis padres por su amor sacrificio de todos estos años gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí. A mis hermanos, por apoyarme y darme valor, comprensión y cariño para seguir en esta travesía.

A mis sobrinos Lina María y José Luis, por hacer presente la dulzura de la vida.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Galvanotécnica, por permitirme contribuir a una mejorar al medio ambiente.

A Tecnoparque SENA, por brindarme las instalaciones y herramientas para el desarrollo de la presente investigación.

A el Profesor Carlos, mi director de trabajo de grado, por su orientación académica y profesional, por su disposición y oportunas recomendaciones.

A mis profesores, compañeros y directivas de la maestría, por sus críticas constructivas y enseñanzas de vida.

A Diego fajardo y Lina María mi asesora en Tecnoparque, por sus contribuciones y apoyo en la investigación.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1 INTRODUCCIÓN.....	10
2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
3OBJETIVOS	14
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
4 JUSTIFICACIÓN.....	15
5 MARCO TEORICO	17
5.1 ANTECEDENTES.....	17
5.1.1 Contaminación Hídrica por Metales Pesados.....	17
5.1.2 Metales Pesados en Aguas Residuales de la Industria de Galvanizado	26
5.1.3 Níquel.....	26
5.1.4 Métodos para el Tratamiento de Aguas Residuales de Galvanotecnia.....	31
5.1.5 Sostenibilidad en los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales.....	48
5.1.6 Viabilidad Técnica, Económica y Ambiental	49
5.2 MARCO LEGAL.....	51
5.2.1 Legislación del agua en Colombia	51
6 MATERIALES Y MÉTODOS.....	54
6.1 MATERIALES Y EQUIPOS.....	54
6.1.1 Material Vegetal.....	54
6.1.2 Reactivos Químicos y Material de vidrio, porcelana y Plástico	54
6.1.3 Equipos.....	54
6.1.4 Población y Muestra de Estudio.....	55
6.2 MÉTODOS.....	56
6.2.1 Caracterización del Agua Residual Galvánica.....	56
6.2.2 Selección empresa Galvánica.....	56
6.2.3 Caracterización de las Operaciones Unitarias Desarrolladas por la Empresa galvanotécnica.....	56
6.2.4 Tratamiento de Aguas Residuales de la Empresa Galvanotécnica	59
6.2.5 Toma de muestras agua residual de la empresa con Tratamiento Primario y Secundario.....	62
6.3 CARACTERIZACIÓN BIOADSORCIÓN DE NÍQUEL CON HOJAS DE MAZORCA DE MAÍZ (<i>ZEA MAYS L</i>)	64
6.3.1 Caracterización de Material Vegetal	64
6.3.2 Diseño de la columna de bioadsorción para Níquel	69
6.3.3 Experimentación de la Columna de bioadsorción de níquel.....	72
6.4 VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL.....	74
6.4.1 Viabilidad Técnica.....	75
6.4.2 Viabilidad Económica.....	81
6.4.3 Viabilidad Ambiental	82
7 RESULTADOS	84
7.1 CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA RESIDUAL.....	84
7.2 RESULTADOS OBTENIDOS DE BIOADSORCIÓN DE NÍQUEL CON HOJAS DE MAZORCA DE MAÍZ (<i>ZEA MAYS L</i>).....	86
7.2.1 Resultados del Análisis Químico Proximal de Hojas de Mazorca de Maíz (<i>Zea mays L</i>).....	86

7.2.2	Resultados de los Parámetros Fisicoquímicos Iniciales y Finales del Proceso de Bioadsorción	87
7.2.3	Resultados de la Columna de Bioadsorción de Níquel.....	88
7.3	RESULTADOS DE VIABILIDAD TÉCNICA, ECONOMICA Y AMBIENTAL DE LA BIOADSORCIÓN DE NÍQUEL CON HOJAS DE MAZORCA DE MAÍZ	91
7.3.1	Resultados de la Viabilidad Técnica (Alternativa Propuesta de Bioadsorción)	91
7.3.2	Resultados de la Viabilidad Económica (Alternativa Propuesta de Bioadsorción) Vs Zeolitas & Resinas.....	94
3	TRANSPORTE	96
	□ Se tiene el siguiente costo mensual de alternativa de zeolitas y resinas utilizada por la empresa Galvanotécnica Tabla 36.....	97
8	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	103
8.1	DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA ...	103
8.1.1	pH en el Agua Residual de la Empresa Galvanotécnica	103
8.1.2	Temperatura en el Agua Residual de la Empresa Galvanotécnica.....	104
8.1.3	Conductividad Eléctrica en el Agua Residual de la Empresa Galvanotécnica	106
8.1.4	Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) en el agua residual de la empresa Galvanotécnica	107
8.1.5	Sólidos Suspendidos Totales (SST) en el Agua Residual de la Empresa Galvanotécnica	109
8.1.6	Sólidos Sedimentables (SSED) en el Agua Residual de la empresa Galvanotécnica	110
8.1.7	Turbidez en el Agua Residual de la Empresa Galvanotécnica	111
8.1.8	Metales pesados en el Agua Residual de la Empresa Galvanotécnica con tratamiento primario y secundario.....	112
8.2	DISCUSION DE RESULTADOS DE LA BIOADSORCION DE NIQUEL CON HOJAS DE MAZORCA DE MAÍZ (ZEA MAYS L).....	114
8.2.1	Ensayo Discontinuo con y sin HCl al 20%.....	114
8.2.2	Caracterización de Análisis Proximal de las Hojas de Mazorca de Maíz	115
8.2.3	Bioadsorción con Hojas de Mazorca de maíz (Zea mays L).....	117
8.2.4	Análisis de la Bioadsorción de Níquel con Hojas de Mazorca de Maíz (Zea mays L)	123
8.3	DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA BIOADSORCIÓN DE NIQUEL CON (ZEA MAYS L).....	131
8.3.1	Estudio de Viabilidad Técnica	131
8.3.2	DISCUSIÓN DE RESULTADOS VIABILIDAD ECONÓMICA	134
8.3.3	Proyección de Flujo de Caja de las dos Alternativas.....	136
8.4	ESTUDIO DE VIABILIDAD AMBIENTAL.....	138
	CONCLUSIONES	143
	BIBLIOGRAFÍA.....	145

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Tasa de Intoxicación por Metales Pesados Bogotá 2015-2018	24
Tabla 2 Metales Pesados Usados en la Industria Galvánica	26
Tabla 3 Características del Níquel	27
Tabla 4 Porcentaje de Usos del Níquel.....	28
Tabla 5 Algunos Compuestos Derivados del Níquel.....	28
Tabla 6 Compuestos que se Forman con el Níquel en Galvanotecnia	29
Tabla 7 Métodos convencionales.....	32
Tabla 8 Métodos No Convencionales	33
Tabla 9 Tipos de adsorción según su naturaleza	35
Tabla 10 Materiales Residuales Utilizados en la Remoción de Metales Pesados	38
Tabla 11 Clasificación IUPAC Tamaños de Poros.....	40
Tabla 12 Comparación de Ensayo Discontinuo y Continuo	42
Tabla 13 Clasificación Taxonómica (Zea mays L)	43
Tabla 14 Grupos Funcionales Presentes en la Mazorca de Maíz (Zea mays L).....	48
Tabla 15 Viabilidades a Evaluar en el Presente Proyecto	49
Tabla 16 Marco Constitucional y Legal Colombiano	53
Tabla 17 Tratamiento de Aguas Residuales Empresa Galvanotécnica	60
Tabla 18 Parámetros Analizados en Laboratorio Acreditado.....	63
Tabla 19 Fórmulas Para el Análisis Químico Proximal de las Hojas de (Zea mays L).....	67
Tabla 20 Ficha Técnica Zeolitas Empresa Galvanotécnica tratamiento terciario.....	79
Tabla 21 Tratamiento con Zeolitas y Resinas de Intercambio Catiónico	80
Tabla 22 Características de resinas de Intercambio Catiónico Empresa Galvanotécnica ..	80
Tabla 23 Puntajes Para la Calificación de los Ítems de la Matriz de Evaluación de Alternativas	83
Tabla 24 Caracterización Inicial del Agua Residual de la Empresa Galvanotécnica	84
Tabla 25 Resultado Ensayo Discontinuo con y sin HCl al 20%	86
Tabla 26 Análisis Proximal Para las Hojas de Mazorca de Maíz	86
Tabla 27 Sitios Ácidos y Básicos, de las Muestras Tamizadas de hojas de maíz	87
Tabla 28 Parámetros Físicoquímicos Iniciales y Finales el Proceso de Bioadsorción de níquel con hojas de Mazorca de Maíz (Zea mays L).....	87
Tabla 29 Bioadsorción de Níquel con Hojas de Mazorca de Maíz.....	88
Tabla 30 Características de la Columna de Bioadsorción de Níquel Propuesta	92
Tabla 31 Presupuesto de Inversión Inicial de Bioadsorción con (Zea mays L)	94
Tabla 32 Costos Bioadsorción de Níquel con Hojas de Mazorca de Maíz.....	95
Tabla 33 Presupuesto de Inversión de Resinas de Intercambio Catiónico y Zeolitas	96
Tabla 34 Costos Zeolitas y Resinas de Intercambio Catiónico	96
Tabla 35 Costo Mensual de Bioadsorción	97
Tabla 36 Costo Mensual de Zeolitas-Resinas Utilizada por la Empresa Galvanotécnica ..	97
Tabla 37 Índice de Precios al Consumidor Para los Próximos 5 años.....	98
Tabla 38 Flujos de Caja Para las Alternativas de Bioadsorción Vs Zeolitas-Resinas.....	99
Tabla 39 Indicadores de Evaluación de Alternativas	100
Tabla 40 Matriz de Calificación de los Items de Evaluación las Alternativas de Zeolitas-Resinas Vs Bioadsorción	101

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1 Diagrama de Flujo Proceso de Galvanizado General	22
Figura 2 Tipos de Adsorción.....	34
Figura 3 Posible Mecanismo de Adsorción de Iones de Níquel con adsorbente de Hojas de Mazorca de Maíz.....	45
Figura 4 Pulimiento de Piezas para Galvanizado	57
Figura 5 Secado de Piezas al Final del Proceso Productivo	58
Figura 6 Tratamiento de Aguas Residuales de la Empresa Galvánica.....	59
Figura 7 Lavado de Material con Agua de Grifo y Agua Destilada	64
Figura 8 Secado de Material Vegetal	65
Figura 9 Molino Eléctrico	65
Figura 10 Molino de Cuchillas	66
Figura 11 Tamizado de Material Vegetal 4mm.....	66
Figura 12 Método Boehm (Determinación Sitios Ácidos y Básicos de las Hojas de Mazorca de Maíz)	68
Figura 13 Ensayo Discontinuo (Biomasa lavada con HCl al 20% y sin reactivo)	70
Figura 14 Montaje de Columna de Bioadsorción.....	71
Figura 15 Columna Saturada Adsorbente 1mm	72
Figura 16 Columna de Bioadsorción de Níquel	73
Figura 17 Concentración de Metales Pesados Agua Residual.....	85
Figura 18 Concentración Inicial y Final de la Bioadsorción de Níquel con Adsorbente de Maíz	89
Figura 19 Componentes Principales del Tratamiento Terciario Propuesto.....	93
Figura 20 Columna de Bioadsorción de Níquel Propuesta con (Zea mays L)"lecho continuo"	93
Figura 21 Curva de Calibración Determinación de Sitios Ácidos y Básicos de Hojas de Mazorca de Maíz.....	117
Figura 22 Variación de SST en el proceso	119
Figura 23 Concentración de Níquel Vs Intervalo de Tiempo	125
Figura 24 Capacidad de Adsorción Calculada en cada Intervalo de Tiempo	127
Figura 25 Zeolitas & Resinas Vs Bioadsorción con Mazorca de Maíz para Remoción de Níquel.....	133

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 Check list.....	164
Anexo 2 Proceso de Recolección de Muestras de Agua IDEAM	165
Anexo 3 Cronograma de Actividades	166
Anexo 4 Presupuesto	168
Anexo 5 Tratamiento de Agua Residual con Cobre.....	168
Anexo 6 Tratamiento de Agua Residual Cromo Hexavalente	168
Anexo 7 Tratamiento de Agua Residual de Níquel.....	169
Anexo 8 Proceso Análisis Químico Proximal.....	170
Anexo 9 Criterios de Calificación Para Cada Ítem de Viabilidad Técnica, Económica y Ambiental	171
Anexo 10 Cálculo determinación sitios ácidos y básicos.....	175
Anexo 11 Diagrama de Flujo Proceso de Galvanizado en la Empresa Galvanotécnica con Materia Prima de Aluminio	176
Anexo 12 Diagrama de Flujo del Proceso Productivo de Galvanizado de la Empresa Galvanotécnica con Materia Prima de Hierro y ZAMAC.....	177

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1 Cantidad de Metal Removido en un Tiempo Específico	37
Ecuación 2 Molaridad (M)	67
Ecuación 3 Fórmula de Dilución.....	67
Ecuación 4 Ecuación Para Hallar Capacidad de Adsorción	70
Ecuación 5 Área Bajo la Curva de Ruptura.....	73
Ecuación 6 Capacidad Máxima de Adsorción de la Columna	74
Ecuación 7 Índice de Biodegradabilidad de (DBO ₅ / DQO).....	85

GLOSARIO

Agua Residual: Aguas contaminadas con sustancias tóxicas para los seres vivos y que se usan en instancias domésticas o industriales. (ABC, 2018)

Bioacumulación: Adsorción de las especies metálicas mediante los mecanismos de acumulación al interior de las células vivas. (Tejada, Villabona, & Garcés, 2015, pág. 112)

Bioadsorbato: Sustancia que se concentra en la superficie o se biosorbe. (Torres & Vanegas, 2018, pág. 14)

Bioadsorbente: fase en que se concentra el bioadsorbato. (Torres & Vanegas, 2018, pág. 14)

Bioadsorción: Es un proceso fisicoquímico en el que la concentración del adsorbato (metales pesados) se fija en un área determinada del adsorbente. En si esta superficie biológica no es biomasa viva. (González, Pokrovsky, Santana, & González, 2017, pág. 234)

Coagulación-Floculación: Es un proceso que logra la desestabilización química de las partículas coloidales y posterior aglomeración. (Caviedes, Muñoz, Perdomo, Rodríguez, & Sandoval, 2015)

Cobre (Cu): Es un elemento químico que pertenece al grupo de los metales y cuyo número atómico es 29. Este metal de transición (por el lugar que ocupa en la tabla periódica de los elementos) se caracteriza por su brillo y su tonalidad rojiza. (Casamayor, 2018, pág. 21)

Cromo (Cr): Elemento químico, símbolo Cr, número atómico 24, peso atómico 51.996g/mol; metal que es de color blanco plateado, duro y quebradizo. (Lenntech , 2018)

Decapado: Es una de las etapas del proceso de galvanizado que tiene como fin eliminar las capas de óxido formadas en la superficie de las piezas metálicas debido al contacto entre estas y la atmosfera. (CNPMLTA), Centro Nacional de Producción mas Limpia y Tecnologías Ambientales, 2001, pág. 8)

Filtración de membrana: Es una tecnología utilizada para la remoción de agentes contaminantes como los metales pesados. (Fu & Wang, 2011, pág. 411)

Galvanotecnia: Es el proceso industrial de recubrir un material de tipo metálico con una fina capa de otro metal, para evitar la corrosión y la oxidación. (Rodero, 2013)

Impacto Ambiental: Son las consecuencias reales de las acciones cotidianas tanto en la naturaleza como en la sociedad. (Puig, Baguer, & Casas, 2017, pág. 104)

Intercambio iónico: Es una operación de separación, en la que ocurre una reacción química que hace que los iones móviles hidratados de un sólido sean intercambiados por iones de igual carga de un fluido (Fu & Wang, 2011, pág. 409)

Metales Pesados: Los metales pesados son un grupo de elementos químicos altamente contaminantes para el medio ambiente debido que no presentan ningún tipo de degradación química o biológica una densidad alta. Son en general tóxicos para los seres humanos y entre los más susceptibles de presentarse en el agua se destaca el mercurio (Hg), níquel (Ni), cobre (Cu), Plomo (Pb) y Cromo (Cr). (Ramos & Salas, 2015, pág. 28)

Níquel (Ni): Es un metal duro y plateado que tiene un número atómico de 28, es el tipo de metal pesado no biodegradable que se encuentra en las aguas residuales. (Carolin, Kumar, Saravanan, Joshiba, & Naushad, 2017, pág. 6)

Ósmosis inversa: Es una técnica capaz de eliminar una amplia gama de especies disueltas del agua, que utiliza una membrana semipermeable lo que permite que el fluido que se esté purificando pase a través de ella. (Fu & Wang, 2011, pág. 412)

Oxidación química: Reacción química donde las especies pierden electrones, ocurren en el ánodo. (Garcia, Villanueva, Campos, & Velázquez, 2012, pág. 117)

Precipitación química: Técnica utilizada en los procesos industriales para precipitar metales pesados con elementos químicos como hidróxidos. (Fu & Wang, 2011, pág. 408)

Reducción Química: Reacción química donde las sustancias ganan electrones, ocurre en el cátodo. (Garcia, Villanueva, Campos, & Velázquez, 2012, pág. 117)

Sedimentación: Etapa dentro de un tratamiento de agua residual, que pasa a través de grandes tanques circulares. (Garcia, Villanueva, Campos, & Velázquez, 2012, pág. 111)

Sustentabilidad: Se refiere a la capacidad de mantener la diversidad y el equilibrio de los ecosistemas. Generalmente, el concepto implica la posibilidad de lograr el desarrollo social y económico sin dañar la viabilidad ecológica, es decir, estableciendo una relación entre el grupo social y el ambiente que permita la coexistencia de ambos. (Deborah, 2015)

RESUMEN

Hoy en día la contaminación hídrica por metales pesados se genera por diversos factores dentro de los cuales se encuentran los vertimientos de industrias como la galvanotecnia, aunque se tienen alternativas para disminuir la concentración de estos elementos son opciones de difícil manejo operacional y costosas como las zeolitas y resinas de intercambio catiónico, sin embargo, el método de bioadsorción es una herramienta que pretende contribuir a mitigar el impacto ambiental que genera la contaminación de metales pesados en aguas residuales industriales.

En la presente investigación se planteó evaluar la bioadsorción de níquel, utilizando hojas de mazorca de maíz como adsorbente. Se obtuvieron muestras de agua residual sin tratar, la cual fue enviada a un laboratorio químico acreditado para su respectivo análisis de los parámetros fisicoquímicos como: pH, T, DQO, DBO₅, SST, SS, a su vez se observó una mayor concentración de Ni de 1,29 mg/L en comparación con los otros metales de Cr 0,483mg/L y Cu 0,144mg/L. Se utilizaron hojas de mazorca de maíz (*Zea mays L*), luego en Tecnoparque se realizó el análisis proximal del material vegetal, indicando que la humedad de este fue: de 8,21 %, de cenizas 2,82 %, de Volátiles 88,5%. Posteriormente se diseñó la columna bioadsorción con las hojas de mazorca de maíz, a través de la cual se hizo correr el agua residual industrial, se recolectaron las muestras en función del tiempo, Los resultados indicaron que la muestra obtenida a las 18 horas presentó la mayor eficiencia de bioadsorción de Ni con una concentración mínima a 0,275 mg/L equivalente a un porcentaje de adsorción de 78,68% en el agua residual, y la capacidad máxima de adsorción en la columna fue de 0,1422mg Ni/g de adsorbente. El análisis de viabilidad técnica, económica y ambiental, indican que este bioadsorbente es una alternativa convencional viable para la remoción de metales pesados de níquel.

Palabras clave: adsorbato, bioadsorbente, bioadsorción, níquel, viabilidad.

1 INTRODUCCIÓN

A nivel mundial una de las problemáticas ambientales de gran importancia es la contaminación al recurso hídrico por metales pesados, una causa determinante es la revolución industrial en sectores como curtiembre, electrónica, acabado de metales, la galvanoplastia entre otras industrias, que continuamente descargan grandes cantidades de aguas residuales vertiendo diferentes contaminantes entre los que se encuentran metales pesados tóxicos, como: arsénico (As), cromo (Cu) cobre (Cr), níquel (Ni) entre otros, siendo su liberación y acumulación un factor determinante para generar variedad de daños en los organismos, por ejemplo al humano puede llegar a afectar el sistema nervioso central, generación de cáncer de estómago y pulmones, daños al material genético entre otras afecciones. (Liu, Luo, Ding, & Luo, 2019)

La generación de agentes contaminantes de Ni (II) se producen en diferentes fuentes industriales como: refinерías de plata, fabricantes de baterías, fábricas de aleaciones sujetas a níquel metálico, la industria galvánica. (Carolin *et al.*, 2017). Si bien es cierto que las empresas tratan las aguas antes de ser vertidas con diversas alternativas como: Separación de membrana, nanofiltración, ultrafiltración, ósmosis inversa, precipitación, coagulación-floculación para la remoción de metales pesados como: Cromo, Cobre, Níquel, estas técnicas son altamente costosas, además de poco amigables con el medio ambiente. (Abdullah, Yusof, Lau, Jaafar, & Ismail, 2019)

No obstante, existen métodos biofísicoquímicos como la bioadsorción que es la captación pasiva de iones metálicos por diferentes biomasas generalmente inactivas o muertas. (Tejada, Tejada, Marimón & Villabona, 2014, citado por Mera, Espinosa & Murillo, 2018). A su vez esta tecnología se presenta como un mecanismo prometedor para el tratamiento de aguas

contaminadas con metales pesados, debido a la eficiencia, simplicidad de disponibilidad de biomásas provenientes de flora microbiana, algas y residuos agroindustriales. (Mera *et al.*, 2018)

En relación a los residuos agroindustriales a bajo costo o sin costo se encuentran: las cáscaras de naranja, cáscaras de piña, entre otros. (Babarinde, Babalola, & Sanni, 2006) , (Díaz, Guilarte, Chaviano, & Pérez, 2017). También se tiene la mazorca de maíz (*Zea mays L.*), el cual es uno de los tres principales cultivos del mundo, que producen una gran cantidad de biomasa (Castro, Ramirez, & Ojeda, 2018) y debido a su bajo costo y composición lo convierten en un fuerte candidato para ser utilizado como adsorbente de elementos contaminantes en el agua.

Es por ello que la presente investigación se tuvo en cuenta el níquel metálico, ya que es el que se metal más complejo de tratar para la empresa siendo el propósito de la presente investigación, estudiar la remoción del metal pesado de níquel mediante la técnica de bioadsorción utilizando hojas de mazorca de maíz (*Zea mays L.*). Teniendo en cuenta que no requiere adición continua de reactivos además de tener un bajo consumo de energía.

Cabe resaltar que en esta investigación se evalúa a escala real, ya que la mayoría de las investigaciones revisadas utilizan soluciones sintéticas y en este proyecto se seleccionó una empresa de sector de la industria de Galvanotécnica, que tuviera una producción frecuente y ubicación en el centro de Bogotá, con vertimiento de aguas residuales cada dos meses.

Los capítulos de esta investigación se distribuyen de la siguiente manera: En el Capítulo 2 se aborda el problema de investigación y descripción del mismo, le sigue el objetivo del estudio que es estudiar la remoción de níquel utilizando hojas de mazorca de maíz (*Zea mays*

L.), para ello se deben conocer las características fisicoquímicas del agua residual sin tratamiento terciario, posteriormente se realiza la caracterización del material vegetal (*Zea mays L*) y luego se realiza el proceso de bioadsorción en columna de lecho fijo continuo, finalmente, se analiza la viabilidad técnica, económica y ambiental, de utilizar este material vegetal en la remoción de metal pesado de níquel.

En la justificación se tiene que el aumento de las infracciones ambientales, debido a la contaminación hídrica de metales pesados generada por industrias como la galvanotécnica, hace necesario disponer de una alternativa amigable con el ambiente y a bajo costo como lo es la bioadsorción que se considera una oportuna solución ambiental, económica y social. En el siguiente capítulo se dan a conocer los antecedentes de la presente investigación con la contaminación del agua por metales pesados, la descripción del níquel sus propiedades y afectaciones al ambiente y la salud, los métodos convencionales y no convencionales para el tratamiento de aguas residuales industriales.

Luego se encuentra el apartado de las hojas de mazorca de maíz (*Zea mays L*), investigaciones que abordan su efectividad en la remoción de metales pesados, seguido de un apartado de sostenibilidad en el sistema de tratamientos de agua residuales de galvanizado, viabilidad, después el marco legal para el recurso hídrico, después la metodología realizada y resultados obtenidos.

2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La concentración de metales pesados en fuentes hídricas es una de las problemáticas que se presenta a nivel mundial debido al riesgo para la salud humana al ser liberados al medio ambiente por diversos factores naturales o antropogénicos como: La precipitación atmosférica, la meteorización ecológica o descarga de productos agrícolas domésticos o industriales.(Tscheikner-Gratl *et al.*, 2019).Las aguas residuales de industrias como la Galvanotecnia son fuentes importantes de metales pesados nocivos como: Cromo, Cobre, Zinc y Níquel estos deben eliminarse antes de la descarga ya que su alta estabilidad química hacen que sean de difícil degradación y se acumulen en el recurso hídrico causando impactos ecológicos y problemas significativos a la salud humana. (Lee *et al.*, 2016).

2.1 Descripción del Problema

Las altas concentraciones de metales pesados se generan por actividades industriales como la Galvanotecnia. Aunque utilizan diversas alternativas estas son costosas e impactan negativamente el ambiente es por ello la necesidad de encontrar una alternativa amigable con el ambiente para la remoción de estos elementos contaminantes (García *et al.*, 2012). Lo cual se genera el siguiente interrogante: ¿Pueden las hojas de mazorca de maíz (*Zea mays L*) remover iones de níquel de aguas residuales galvánicas por el mecanismo de bioadsorción?

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

➤ Estudiar la eficiencia del proceso de bioadsorción del níquel, por medio de hojas de maíz (*Zea mays L*) para el tratamiento de aguas residuales provenientes de una empresa galvanotécnica.

3.2 Objetivos Específicos

➤ Hallar las principales características fisicoquímicas y las concentraciones de metales pesados en el agua residual de la empresa galvanotécnica.

➤ Determinar la capacidad de adsorción del níquel presente en las aguas residuales una empresa galvanotécnica a través de las hojas de (*Zea mays L.*) en una columna de bioadsorción de lecho fijo.

➤ Analizar la viabilidad técnica, económica y ambiental al utilizar hojas (*Zea mays L*) en el proceso de bioadsorción para la remoción de metal pesado de níquel en aguas residuales de la empresa galvanotécnica.

4 JUSTIFICACIÓN

Las industrias galvánicas han estado teniendo dificultades para cumplir con la norma de los límites permisibles de metales pesados en sus vertimientos y según el registro único de infractores ambientales reglamentado mediante la ley 1333 de 2009, para el año 2010 se identificaron 184 procesos sancionatorios relacionados con la contaminación al recurso hídrico, de los cuales 89 son por vertimientos de aguas residuales industriales. (MADS, 2010) Igualmente, el Observatorio Regional Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Río Bogotá, informa que en la cuenca de este río, en el 2015, se reportaron 775 vertimientos de aguas residuales y un año después en 2016 se incrementan a 803. (Orarbo, 2017) .Lo que evidencia un aumento en la cantidad de vertimientos a través del tiempo.

Estos vertimientos contienen una tasa de contaminación que según Reyes *et al.*, (2016) puede ser estimada en 2000 millones de metros cúbicos. (p. 66). En promedio los vertimientos de empresas Galvánicas con metal pesado Ni (II) oscilan entre 130 mg/L y puede llegar aproximadamente a 2900 mg/L en el proceso de enjuague y enchapado, siendo uno de los contaminantes más tóxicos. (Dhokpande, Kaware, & Kulkarni, 2013, pág. 2162). Y en relación a la intoxicación por metales pesados van en aumento pasando de 96 casos del 2008 a 319 casos en el 2015 debido al aumento de productos en las diversas industrias. (Muñoz , Díaz-Criollo, & Martínez-Duran, 2017, pág. 31)

En vista de que esta problemática va en aumento, y debido a que las alternativas convencionales son costosas e ineficientes. (Villabona, Tejada, Herrera, González, & Núñez, 2018), se evidencia la necesidad de nuevas alternativas que permitan la remoción de elementos contaminantes como el níquel en las aguas residuales antes de ser vertidas, para así poder mitigar el impacto a este recurso.

La bioadsorción es una alternativa metodológica, considerada como una fuerte opción para el tratamiento de aguas residuales, debido a su alta eficiencia para la remoción de grandes porcentajes de metales pesados, en una amplia gama de condiciones de pH y Temperatura. (González *et al.*, 2017). También contribuye a la disminución de productos químicos ya que se utilizan biomásas lignocelulósicas como bioadsorbentes económicos y ecológicos que se encontrarían al alcance de las pequeñas industrias.

Este tipo de bioadsorbente pueden ser residuos agroindustriales de hojas de mazorca de maíz (*Zea mays L*) que son recursos fácilmente disponibles y han sido reconocidos como una solución sostenible para el tratamiento de aguas residuales y resulta ser un adsorbente adsequible para la eliminación de contaminantes como los metales pesados. (De Gisi, Lofrano, Grassi, & Notarnicola, 2016)

Es por ello que en la presente investigación se utilizaron las hojas de mazorca de maíz (*Zea mays L*) de manera inactiva para evaluar la capacidad de la remoción de níquel de aguas residuales de una empresa galvanotécnica, como reemplazo de las costosas resinas por tratamientos eficientes, económicos y amigables con el ambiente, que les permitan cumplir con la normatividad.

Por otro lado, esta investigación se encuentra dentro del énfasis de la maestría de Gestión y Manejos de Recursos el cual tiene dentro de sus paradigmas la calidad del agua siendo un pilar fundamental en la presente investigación, ya que se aborda el tema de contaminación, y se relaciona con los Objetivos de Desarrollo Sostenible con el objetivo 6 de agua limpia y Saneamiento que estipula “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos” con la meta 6.3 relacionada con mejorar la calidad de agua mediante la reducción de un elemento contaminante como metales pesado de níquel.

5 MARCO TEORICO

5.1 Antecedentes

5.1.1 Contaminación Hídrica por Metales Pesados

La contaminación se produce por diversos factores dentro de los cuales están los procesos que generan diversos subproductos no deseados como microbios patógenos, sólidos en suspensión, pesticidas y metales pesados entre otros, que diversas industrias generan. (Miranda, Díaz, & Leal, 2018)

Aunque existen métodos convencionales como la filtración por membrana, precipitación química, intercambio iónico, nanofiltración, ósmosis inversa, estos métodos son poco rentables e incapaces de tratar altas trazas de concentraciones de iones metálicos además de poco amigables con el medio ambiente. (Tejada, Villabona, González, Marrugo, & Pájaro, 2018), (Abdullah *et al.*, 2019). Por lo tanto, se hace necesario buscar alternativas más eficientes a un bajo costo y que permitan disminuir el impacto al medioambiente. (Carolin *et al.*, 2017)

5.1.1.1 Contaminación Hídrica a Nivel Mundial por Metales Pesados.

La contaminación de metales pesados en aguas superficiales es un problema a nivel global, se debe a la intervención antrópica y según los reportes del estudio realizado por Zhou *et al.*, (2020) en ríos como Níger en Nigeria la concentración ascendió en el año 2004 a 50 mg L⁻¹ para cadmio (Cd), 30 mg L⁻¹ para plomo (Pb), 2080 mg L⁻¹ para Cromo (Cr) y 780 mg L⁻¹ para níquel (Ni) (Zhou *et al.*, 2020 p. 2), esto se debe a la excesiva acumulación, biomagnificación, y toxicidad de los mismos. (Ali & Khan, 2019)

La presencia de los metales pesados en el medio ambiente representa un peligro ambiental significativo a largo plazo porque no son biodegradables y tienden a acumularse en organismos vivos, su alta existencia en el ambiente se debe a que son usados en industrias productoras de metales como la Galvanotecnia las cuales producen desechos líquidos que contienen iones metálicos como: zinc (Zn), plata (Ag), cadmio (Cd), cromo (Cr), y níquel (Ni) cuya concentración de este último en el agua potable normalmente es inferior a 0,02 mg/L, aunque el níquel liberado de los grifos puede contener 1 mg/L. (WHO, pág. 397) su alta concentración es tóxica y altamente cancerígena debido a sus interacciones con componentes celulares como el ADN y proteínas nucleares lo cual genera daños en el ADN. (Tchounwou, Yedjou, Patlolla, & Sutton, 2012).

Esta problemática se encuentra en varios países en vía de desarrollo como lo afirma (Joseph, Jun, Flora, Park, & Yoon, 2019) esta afectación va en aumento debido a que no cuentan con recursos económicos para tratar de una manera eficaz el agua contaminada o no tienen acceso a sistemas de agua potable, lo cual afecta la salud humana por el consumo directo de agua contaminada. También se estima que 844 millones de personas no tienen una fuente básica de agua potable, y 1,6 millones mueren cada año por enfermedades prevenibles como la diarrea estas muertes son de niños. (WHO, pág. 2). Es por ello la necesidad de encontrar una alternativa para mitigar el impacto de estos elementos tóxicos.

5.1.1.2 Contaminación Hídrica a Nivel de Estados Unidos y Europa.

La contaminación del agua se debe al aumento de las actividades de la población y la necesidad de brindarles bienes y servicios que usen el agua como recurso vital. (Kumar *et al.*, 2019). A su vez la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEE) indica que en Europa alrededor del 60% de las masas de agua superficiales estaban fallando en un buen estado ecológico

(Carvalho *et al.*, 2019, p. 1229). Unos de los elementos que contribuyen al deterioro de este recurso son los metales pesados siendo una preocupación constante a nivel mundial.

En una revisión realizada por Kumar *et al.*, (2019) indica que entre 1994 hasta 2019 la concentración de diversos metales pesados en cuerpos de aguas superficiales de todo el mundo han excedido los límites permisibles sugeridos por la Organización Mundial de la Salud dentro de los cuales se encuentran: Cromo (Cr), Cobre (Cu), Zinc (Zn), Cobalto (Co), con una concentración promedio de 413,27 mg/L , 537,87 mg/L, 723,11 mg/L, 3994,82 mg/L respectivamente y el Níquel con una concentración promedio de 945.86 mg/L (p.6)

Además, en países como la India, Grecia, Sudáfrica, Irán, Turquía, Alemania, Nigeria y Estados Unidos según la (USEPA, 2009), (OMS, 2017) indican que el límite permisible en el agua potable de metales como el: Hg, Pb, Cr, Cu, Cd, Zn y Ni no debe exceder 0.002, 0.015, 0.1, 1.3, 0.005, 5 y 0.04 mg/L⁻¹ respectivamente. (Kumar, Dahms, Won, Lee, & Shin, 2015, pág. 331).

A su vez la contaminación hídrica según (Kobieslska, Howarth, Farha, & Nayak, 2018) es una problemática que se ha venido incrementado, generando altos riesgos para la salud humana y el medioambiente debido a las acciones humanas que contribuyen al incremento de concentración de metales pesados como el níquel (Ni) cuya ingesta diaria máxima tolerable es 0,07 g L⁻¹ (p. 93). Es por ello que a nivel mundial se hace necesario tener una alternativa confiable y eficaz para disminuir la concentración de estos elementos vertidos por las industrias.

5.1.1.3 Contaminación hídrica a nivel de Latinoamérica y Colombia.

En una investigación realizada por Robledo *et al.*, (2017) indican que el 54% de las aguas residuales en México no reciben tratamiento y son desalojadas hacia los cuerpos de agua, suelos y canales de riego, generando una problemática de contaminación, afectación a la salud pública y a la biota acuática. (p. 222). Dentro de los contaminantes de aguas residuales mexicanas se presentan iones metálicos. (Pérez, Arriola, García, Saldaña, & Mendoza, 2016). Siendo metales como: el Zinc (Zn), Cobre (Cu) y Plomo (Pb). (Almazán, y otros, 2016)

Por otro lado, en una investigación realizada por Quispe y colaboradores (2019) en Perú, afirman que las altas concentraciones de metales pesados como: cobre (Cu), plomo (Pb), zinc (Zn), cromo (Cr), níquel (Ni) y estaño (Sn) se atribuye a las actividades domésticas e industriales intensas locales como la escorrentía urbana y agrícola, las aguas residuales industriales y hospitalarias que se descargan en los ríos sin tratamiento previo.

En relación a Colombia se generan $4,5 \times 10^6$ m³/ mes de aguas residuales en actividades domésticas, agropecuarias e industriales y cerca del 90 % son vertidas en los ríos convirtiéndose en la principal fuente de contaminación de aguas superficiales. (Bedoya, Ardila, & Reyes, 2014, pág. 276). A su vez, se presenta una alta concentración de metales pesados como el: Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cromo (Cr), Cobre (Cr) y Níquel (Ni) entre otros teniendo una densidad superior a 6 g/cm³. (IDEAM, lavH, Invemar, SINCHI e IIAP, 2011, pág. 69)

Es por ello que en la actualidad varias de las fuentes hídricas en Colombia se están viendo afectadas por el aumento de contaminación generada de los vertimientos de aguas

residuales, que presentan condiciones anóxicas (casos ríos Bogotá, Medellín, Cali, Sogamoso, etc. (Dávila & Bayona, 2018)

Dentro de las diversas afectaciones que generan estos iones metálicos que se vierten al recurso hídrico se encuentran diferentes tipos de cánceres, enfermedades renales y neuronales, debilitamiento del sistema inmune, y la muerte. (Tejada, Villabona, & Garcés, 2015).

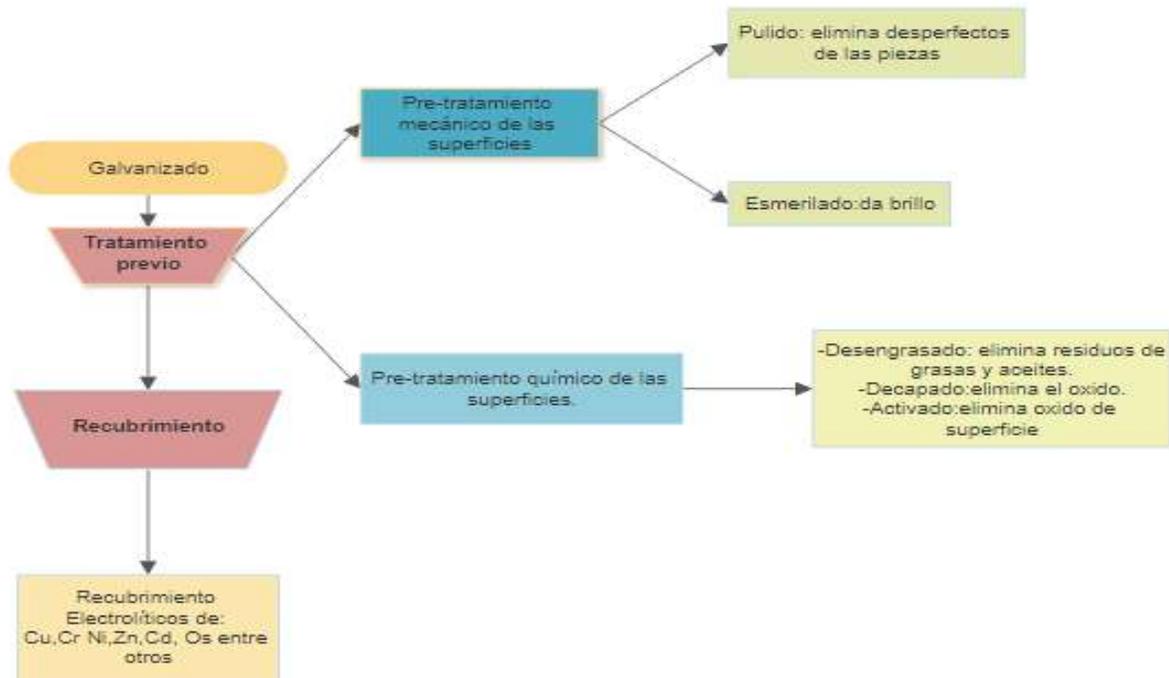
5.1.1.4 Proceso Productivo y Contaminación Hídrica por Galvanizado en Colombia

5.1.1.4.1 Proceso productivo de Galvanizado en Colombia.

Para hacer referencia a esta problemática es necesario conocer el proceso productivo del sector de Galvanizado. Según Álzate, Oquendo, & Muñoz, (2010) “es una técnica que tiene como objetivo proteger la superficie de una pieza ya sea metálica o plástica para mejorar su aspecto, se basa en proceso de deposición electrolítica con una capa delgada de metal mediante electricidad, siendo las capas más utilizadas de metales son: Oro (Au), Plata (Ag), Cromo (Cr), Cobre, Níquel (Ni), Estaño (Sn) o Zinc (Zn)”. El proceso se compone de dos fases que son: tratamiento previo, recubrimiento. **Figura 1.**

Figura 1

Diagrama de Flujo Proceso de Galvanizado General



Fuente: Información obtenida y ajustada de (Rodríguez, 2015)

En relación con el sector industrial de Galvanotecnia, Alarcón & Ardila (2008) afirman “que sus procesos se basan en la transformación de una superficie que puede ser o no metálica mediante un recubrimiento metálico. Los procedimientos que aborda esta industria tienen como finalidad modificar las propiedades de la superficie de los metales de uso más frecuente para recubrir superficies con níquel, cromo y cobre para fines decorativos” (p.58).

5.1.1.4.2 Contaminación Hídrica por Galvanizado en Colombia.

Una de las grandes problemáticas dentro del sector de galvanizado en el proceso productivo es el uso de elementos altamente contaminantes como lo son los metales pesados (cobre, cromo y níquel) y se hace necesario determinar en qué etapa se genera mayor cantidad de agua residual contaminada que presenta incumplimiento normativo generando un impacto a nivel ambiental y a su vez permita conocer las afectaciones a la salud humana que generan estos metales. Según Álzate, Oquendo & Muñoz (2010) otro factor que también presenta dificultades es el uso racional del agua en sus diferentes etapas por ejemplo en los enjuagues se puede llegar a utilizar hasta el 95% de toda el agua del proceso del recubrimiento. (p.12). También indican que en Colombia existen 1.800 talleres de procesos de recubrimientos electrolíticos o Galvanotecnia. (p.16).

5.1.1.5 Contaminación Hídrica en Bogotá.

En Bogotá existen 1.541 talleres de procesos de recubrimientos electrolíticos o Galvanotecnia. (Secretaría de Ambiente, 2019). Siendo una gran proporción de talleres que contribuye a la afectación al recurso hídrico.

Por otro lado, la Cámara de Comercio de Bogotá en 2009 reporta un total de 521 empresas dedicadas al sector galvánico en Colombia, de las cuales 325 cumplen con la normatividad exigida. (Acosta, Cristancho, Ospina, & Morales , 2009). Una de las razones principales por las que las empresas restantes incumplen la normativa ambiental es la falta de control y rigurosidad por parte del ente regulador (Minambiente) y la falta de capacitación a las industrias para que conozcan el manejo y uso de materiales como: algas, residuos agrícolas

entre otros, que puedan ser utilizados en la remoción de metales pesados en aguas residuales que ayuden a mitigar los impactos al medioambiente y a un bajo costo.

Los diversos contaminantes que se vierten por parte de este tipo de industrias contribuyen a la afectación de salud como lo informa la Secretaría Distrital de Salud, en sus informes de vigilancia colgado en la página en una publicación web sobre la “Tasa de intoxicación por metales pesados en Bogotá” como se observa en la **Tabla 1**. (Secretaria de Salud de Bogotá, 2018)

Tabla 1

Tasa de Intoxicación por Metales Pesados Bogotá 2015-2018

Año	N° de Casos	Tasa de Incidencia por Cada 100000 Habitantes	Rango de Edades con Mayor Afectación
2015	36	0,46 intoxicaciones	Entre 27-59 años
2016	32	0,4 intoxicaciones	Entre 27-59 años
2017	22	0,27 intoxicaciones	Entre 18 -44 años
2018	3	0,28 intoxicaciones	Entre 18- 44 años

Fuente: Secretaria de Salud de Bogotá (2018), Orarbo, (2017)

Según datos de esta misma entidad la frecuencia de casos de intoxicación por metales pesados es mayor en hombres, con un 87,5 %, y varía los rangos de edades cada dos años ver **Tabla 1** (Secretaria de Salud de Bogotá, 2018). En las mujeres, presentan más alergias y eczemas por níquel (Vahter, Akensson, Lidén, Ceccatelli, & Berglund, 2007, pág. 86). En los niños, la exposición por metales puede llegar a generar impactos negativos en su desarrollo neurológico como las encefalopatías. (Londoño *et al.*, 2016). También se presentan síntomas como convulsiones, parálisis, vómitos, neumonía y depresión con el cobre cuando se inhalan en vapores. (Duruibe, Ogwuegbu, Ogwuegbu, & Egwurugwu, 2007)

En vista de esta problemática la empresa galvanotécnica utiliza dentro del tratamiento terciario de sus aguas residuales zeolitas y resinas de intercambio catiónico para remoción de metales pesados como el cromo (Cr), cobre (Cu) y níquel (Ni). Sin embargo, las zeolitas son más eficientes a nivel de laboratorio (Carolin *et al.*, 2017), (Ambashta & Sillanpää, 2010). Y en relación a las resinas de intercambio catiónico generan contaminantes secundarios, además de aumentar el costo operativo, no se puede utilizar a gran escala para el tratamiento de aguas residuales. (Bilal *et al.*, 2013). Por otro lado el níquel (Ni) es el más complejo en el proceso de reducción de su concentración.

Es por ello que se hace necesario encontrar formas más sostenibles y amigables con el ambiente que permitan mitigar los impactos negativos, tal es el caso de la bioadsorción que se muestra como un método biofísicoquímico prometedor que brinda la oportunidad de poder contribuir en el tratamiento de aguas residuales industriales, debido a su alta eficiencia y naturaleza sostenible de los materiales lignocelulósicos obtenidos a partir de residuos agroindustriales. (Tejada *et al.*, 2018)

Dentro de estos residuos agroindustriales se encuentran la mazorca de maíz (*Zea mays* L) según Malik *et al.*, (2017) su pared celular presenta celulosa: 38,4 %, hemicelulosa 40,7% y la lignina 9,1%. (p. 2118) estos componentes a su vez permiten que existan una serie de interacciones que atraen a los iones metálicos al bioadsorbente. (Cao *et al.*, 2017), (Salleh, Mahmoud, Karim, & Idris, 2011).

5.1.2 Metales Pesados en Aguas Residuales de la Industria de Galvanizado

El sector de Galvanizado utiliza diversos componentes metálicos que cumplen variedad de funciones como se observan en la **Tabla 2**. Sin embargo, en la presente investigación se hace énfasis en el Níquel como se observará en el próximo apartado.

Tabla 2

Metales Pesados Usados en la Industria Galvánica

Metales y aleaciones	Propiedades	Aplicaciones
Cr, Ni, Sn, Au, Zn, Cd	Protección anticorrosiva.	Piezas automotrices.
Cr, Fe, Ni	Síntesis de material en una superficie.	Restauración de piezas gastadas o maltratadas.
Cr, Au, Ag, Pt, Ni, Cu-Zn	Mejoramiento estético de las superficies.	Alhajas, Vajillas.
Cr, Ni, Fe, Sn, Ru, Pd	Protección contra el desgaste.	Rodillos, pistones, contactos, apagadores
Cr, Ru, Os	Dureza	Moldeado, prensado
Cu, Ag, Au	Conductividad eléctrica	Circuito impresos, antenas, cables
Cu, Sn-Ni	Retención de aceite	Sistemas hidráulicos
Ni, Sn, Cd, Sn-Pb	Capacidad para soldarse	Circuitos impresos, contactos eléctricos

Fuente: (Rodríguez, 2015, pág. 15)

5.1.3 Níquel

Elemento abundante en la corteza terrestre que se encuentra representado con aproximadamente un 0,008%, encontrándose en las rocas ígneas como un metal libre o junto con el hierro. (Amari, Ghnaya, & Abdelly, 2017). Es un metal pesado duro, dúctil y de color blanco plateado que puede ser pulido; en la **Tabla 3** se observan sus características generales. El níquel (Ni) natural es una mezcla de cinco isótopos estables. Aunque puede ocurrir en varios

estados de oxidación diferentes de -1 a+4, siendo el estado de oxidación prevalente en condiciones ambientales es Ni²⁺. (Rodríguez, y otros, 2009, pág. 10). Los radios iónicos de Ni²⁺ son similares a otros cationes como calcio Ca²⁺, magnesio Mg²⁺, el níquel tiene una alta movilidad y una tasa de transporte elevada. (Amari *et al.*, 2017, p.100).

Tabla 3

Características del Níquel

Nombre	Níquel
Símbolo químico:	Ni
Numero atómico:	28
Peso atómico:	58.69 g.mol ⁻¹
Punto de fusión :	1453 C°
Punto de ebullición:	2730 C°
Densidad:	8.90 g/cm ³ a 25 °C
Temperatura Curie :	253 C°
Estado de Oxidación	0,-1, +2,+3, +4
Van der Waals radios	163 (10-12m)

Fuente: (Rodríguez, y otros, 2009, pág. 10)

El níquel según Choque, (2017) “se ha encontrado como un componente de metalo-enzimas vegetales (ureasa) necesario para metabolizar la urea en cultivos celulares, y por su efecto en la nodulación de las leguminosas y en la nitrificación y mineralización del Ni”. (p. 29). También según Sunderman, (2017) indica que es ampliamente usado en fábricas de acero inoxidable, componentes informáticos, catalizadores, moldes de cerámica y vidrio baterías de níquel-cadmio, prótesis dentales y quirúrgicas algunas aleaciones, procesamiento de minerales y la Galvanotecnia. (p. 57). En esta última industria como afirma Prueitt & Goodman, (2015) “el níquel se usa como catalizador químico que ayuda a brindar a las materias primas dureza, ligereza, cualidades anticorrosivas, eléctricas y térmicas”. (p. 173). Sin embargo, según el

Nickel Institute (2014) se establece ciertos porcentajes del uso del níquel como se observa en la **Tabla 4**.

Tabla 4

Porcentaje de Usos del Níquel

Uso	%
Fabricación de aceros inoxidables.	69
En otros aceros y aleaciones no ferrosas, aplicaciones industriales, aeroespaciales y militares altamente especializadas.	15
Se utiliza en el revestimiento.	8
Se usa en fundiciones.	3
En baterías para electrónica y en baterías para equipos portátiles y automóviles híbridos.	3
En productos químicos, catalizadores y colorantes.	2

Fuente: (Nickel Institute, 2014)

Por otro lado existen diversos compuestos derivados del níquel como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 5

Algunos Compuestos Derivados del Níquel

Nombre compuesto	Uso
Sulfato de Níquel (NiSO ₄)	Tratamiento superficies metálicas en industrias como: automotor, aeronave, electrónicos y plásticos.
Cloruro de Níquel (NiCl ₂)	Tratamiento superficies metálicas en industrias como: automotores, aeronave, electrónicos.
Nitrato de Níquel Ni(NO ₃) ₂	Tratamiento superficies metálicas en industrias como: automotores, aeronave, electrónicos y baterías.
Hidróxido de Níquel Ni(OH) ₂	Tratamiento superficies metálicas cátodos de baterías en industrias como: automotores, aeronave, electrónicos y baterías.

Fuente: Tomado y ajustado (Nickel Institute, 2015)

5.1.3.1 Asociación del níquel a la contaminación del agua

Debido a la generación de grandes cantidades de aguas residuales industriales cargadas de metales pesados potencialmente peligrosos como el níquel, constituye un problema de contaminación ambiental importante en los últimos años, debido a su toxicidad y tendencia a la acumulación, además representa una gran amenaza porque incluso a bajas concentraciones no se reduce de forma natural y es tóxico para la vida humana y acuática, es considerado como uno de los contaminantes prioritarios que se han introducido en el medio ambiente y las fuentes primarias de esta introducción son industrias como la minería, refinación de petróleo, Galvanotecnia entre otras. (Noor *et al.*, 2017), (Coman *et al.*, 2013).

Por otro lado, su interacción en el agua puede llegar a formar complejos de óxido como de: Níquel-Cobre, hidróxido de níquel $\text{Ni}(\text{OH})_2$. A su vez la oxidación de soluciones salinas de Ni (II) con haluros o persulfato produce el óxido de Ni (III) insoluble Ni_2O_3 mientras que la oxidación de persulfato de hidróxido de Ni (II) produce óxido de Ni (IV) (NiO_2). (Coman *et al.*, 2013).

Dentro de la galvanotecnia el níquel ayuda a realizar aleaciones con Cobre, Cromo y Aluminio. La **Tabla 6** muestra componentes químicos que contienen níquel.

Tabla 6

Compuestos que se Forman con el Níquel en Galvanotecnia

Compuesto	Función
Sulfato de Níquel hexahidratado ($\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	-Fuente: principal de iones de Níquel (Ni^{2+}) -Deposición de recubrimientos funcionales.

Compuesto	Función
	-Se presenta en tres formas (α , β y amorfo)
Cloruro de Níquel hexahidratado ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) Níquel negro	-Aumenta la conductividad -Decoración automotriz, de ciclas.
Gránulos esféricos de carbonil de Níquel	-Conducir la corriente eléctrica al electrolito Reemplazar los iones de Níquel descargados en el cátodo -Distribuir la corriente de la manera más uniforme posible sobre la superficie del cátodo.

Fuente: (Nickel Institute, 2015)

El uso de níquel en procesos de galvanoplastia y otras industrias según Dermentzis, (2010) puede llegar a tener una alta concentración en las aguas residuales en promedio de 1000 mg L^{-1} . (p. 674). Estos pueden llegar a generar una contaminación grave sino se tratan antes de que se viertan llegando a desequilibrar las condiciones vitales de la fauna y flora acuática. (Es-sahbany, y otros, 2019), (Shen & Chen , 2019),

5.1.3.2 Afectaciones a la Salud por Níquel

Dentro de las afectaciones por metal pesado níquel se puede observar la escasa información en relación a este elemento no obstante, según Liu *et al.*, (2019), Carolin *et al.*, (2017), Islam *et al.*, (2019) afirman que la ingesta de Ni (II) se encuentra asociado a daños al ADN en concentraciones altas generan rupturas en el mismo, también contribuyen a la generación de cáncer de pulmón, pérdida de cabello, destrucción de glóbulos rojos, causa enfermedades hepáticas, enfermedades cardiovasculares, también varios compuestos de Ni (II) los carbonilos son peligrosos porque son fácilmente absorbidos por la piel humana.

Por otro lado, la acción tóxica aguda y sus compuestos son las dermatosis y la sensibilización alérgica, exceptuando la inhalación del níquel carbonilo (altamente irritante para el tejido respiratorio) que puede provocar la muerte por edema pulmonar, el metal y sus compuestos tienen una baja toxicidad aguda, posee una evidencia y bien estudiada de su efecto cancerígeno sobre todo el aparato respiratorio como carcinoma gástricos, sarcomas en tejidos blandos y casos de cáncer renal. (Choque, 2017)

Según Sunderman (2017), la exposición crónica de los trabajadores a la inhalación de concentraciones atmosféricas bajas de níquel carbonilo ($0,007$ a $0,52 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) puede producir síntomas neurológicos (insomnio, cefalea, vértigo y pérdida de memoria) y de otro tipo (opresión en el pecho, sudoración excesiva, alopecia), también indica que han producido muertes de 4 a 13 días después de la exposición con níquel carbonilo. (p. 32).

Las plantas necesitan pequeñas concentraciones, ya que en un rango de concentración que oscila entre $0,5$ a 300 mg/L , puede llegar a ser extremadamente tóxico dependiendo de la planta puede ocasionar deficiencia de Hierro, clorosis, necrosis foliar, afectación en la absorción de nutrientes por la raíz. (Almendros, 2016, pág. 16). Además la concentración máxima permitida de Ni (II) en el agua potable según la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de EE. UU y la Organización Mundial de la Salud (OMS) es de 0.02 mg/L , (Raval & Shah, 2016, pág. 1)

5.1.4 Métodos para el Tratamiento de Aguas Residuales de Galvanotecnia

5.1.4.1 Métodos Convencionales. Se observan en la siguiente tabla.

Tabla 7

Métodos convencionales

Método convencional	Características	Ventajas	Desventajas	Autor
Osmosis Inversa(OI)	Es un proceso de permeación a través de membrana para la separación por difusión controlada o cribado.	-Alta capacidad de tratamiento desde 0.0001 mm	-Alto consumo de energía. -Alto costo.	(Caviedes, Perdomo, Rodríguez & Sandoval, 2015), (Abdullah <i>et al.</i> , 2019)
Microfiltración	Proceso que elimina sólidos en suspensión con un tamaño de 100 a 1000 nm.	-Alta estabilidad - Utilidad prolongada	-Mayor consumo de energía y menor permeabilidad de agua.	(Abdullah <i>et al.</i> , 2019)
Ultrafiltración (UF)	Técnica de separación efectiva de sólidos en suspensión impulsado por baja presión.	- Recuperación y reutilización de retenido. - Alta eficiencia de separación.	-Se requiere de modificaciones. -Adición químicos para eliminación de iones metálicos.	(Abdullah <i>et al.</i> , 2019), (Carolin <i>et al.</i> , 2017)
Nanofiltración	Proceso intermedio entre la ultrafiltración, osmosis inversa, es en si la remoción de iones de metales pesados.	-Alto rechazo de metales pesados en funcionamiento intermedio rango de presión	-No remueve iones divalentes. -Mayor consumo de energía. -Menor permeabilidad del agua.	(Ranade & Bhandari, 2014)
Electroquímico	Procesos de oxidación avanzada.	Eficiente para la eliminación de iones metálicos importantes, bajo uso de químico.	La inversión inicial es alta, necesita un alto suministro eléctrico.	(Ahmed & Ahmaruzza man, 2016)
Intercambio iónico	Es un proceso de separación que sustituye los iones por otro para el tratamiento de aguas residuales.	Alta transformación de componentes	Elimina solo iones metálicos limitados, el costo operativo es alto.	(Farooq, Kozinski, & Athar, 2010)
Intercambio catiónico	Se caracteriza por tener resinas fuertemente ácidas y resinas básicas débiles. Los grupos	Eficiencia en remoción.	Alto costo.	(Carolin <i>et al.</i> , 2017)

Método convencional	Características	Ventajas	Desventajas	Autor
	de ácido sulfhídrico están presentes en las resinas ácidas y los grupos de ácido carboxílico están presentes en la resina básica.			

Fuente: (Abdullah *et al.*, 2019), (Caviedes *et al.*, 2015), (Farooq *et al.*, 2010), (Carolin *et al.*, 2017) (Ranade & Bhandari 2014), (Ahmed & Ahmaruzzaman, 2016)

5.1.4.2 Métodos no Convencionales

En la siguiente tabla se observan varios métodos no convencionales de métodos no convencionales.

Tabla 8

Métodos No Convencionales

Método	Interpretación
Biopolímeros	Mecanismo que se caracteriza por tener la capacidad de retener iones metálicos de transición a concentraciones de partes por billón son altamente disponibles y ayudan al medioambiente (Barakat, 2011), presentan diferentes grupos funcionales como: hidroxilo y aminas.
Ceniza volante	Se generan durante la combustión del carbón es conocido como un contaminante ambiental, este material se reutiliza como un adsorbente para la eliminación de varios contaminantes entre ellos los metales pesados, también se puede aumentar su capacidad de adsorción por medio de la activación química y física. (Visa & Chelaru, 2014).
Hidrogeles	Polímeros hidrófilos reticulados capaces de ampliar sus volúmenes en el agua, son principalmente utilizados en la purificación del agua, se han sintetizado variedad de hidrogeles como nanogeles, hidrogeles de celulosa enfocados en adsorción de metales pesados como: cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni). (Hua & Liz, 2014)
Coagulación-Floculación	Se utiliza para la precipitación de metales pesados, desestabilizando las partículas coloidales neutralizándolas y generando la sedimentación de lodos, la efectividad de la coagulación dependerá del tipo de coagulante, la dosis, pH, temperatura, alcalinidad, condiciones de mezcla; los floculantes permiten la aglomeración las partículas desestabilizadas y los coagulantes eliminan la doble capa eléctrica de

un coloide. (Ismail, Fawzy, Abdel-Monem, Mahmoud, & El-Halwany, 2012)

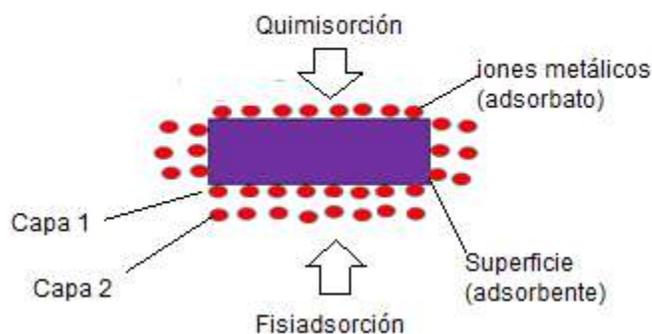
Fitorremediación Es la unión de tecnologías como: fitoestabilización (inmoviliza contaminantes del suelo), fitoinmovilización (inactiva sustancias tóxicas mediante la producción de compuestos químicos), fitodegradación (degradan los productos contaminantes a inofensivos), fitovolatilización (durante el crecimiento la planta absorbe agua y algunos contaminantes inorgánicos y orgánicos que pueden ser volatilizadas) y rizofiltración (utiliza las plantas para eliminar del medio hídrico contaminantes a través de la raíz) en si el objetivo de estas tecnologías es la reducción de concentración de agentes contaminantes, a partir de los procesos bioquímicos que efectúan las plantas y microorganismos asociados a ellas. Este método se hace más efectivo con manipulación genética a su vez se presenta como una alternativa sustentable y económica. (Delgadillo, González, Prieto, Villagómez, & Acevedo, 2011)

Fuente: (Caviedes *et al.*, 2015), (Carolin *et al.*, 2017), (Ismail *et al.*, 2012), (Hua & Liz, 2014), (Delgadillo *et al.*, 2011), (Ismail, Fawzy, Abdel-Monem, Mahmoud, & El-Halwany, 2012)

5.1.4.2.1 Adsorción. Proceso fisicoquímico por el cual un sólido o un líquido atraen en su superficie y retienen átomos e iones entre otros (Figura 2), se genera por interacciones débiles de alto alcance lo que genera que los iones queden atrapados sobre la superficie de un material. (Valladares, Cárdenas, De la Cruz, & Alemán, 2017, pág. 61)

Figura 2

Tipos de Adsorción



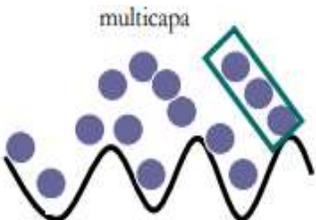
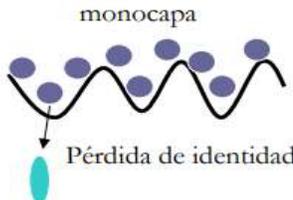
Fuente: (Propia, 2019)

Dentro del método de adsorción se utilizan variedad de materiales biológicos específicamente en mayor medida las: bacterias, algas, levaduras y hongos. (Anastopoulos & Kyzas, 2015). También en la adsorción de metales pesados se utiliza materiales agrícolas e industriales, los flujos de residuos y carbón activado se han usado como un mecanismo viable pero bastante costoso. (Caviedes *et al.*, 2015).

En la **Tabla 9** se observa dos clases de adsorción conocidos.

Tabla 9

Tipos de adsorción según su naturaleza

Fisiadsorción	Químisorción
<p>Este tipo de adsorción ocurre cuando el adsorbato (iones metálicos) y la superficie del adsorbente (sólido) interactúan, por medio de fuerzas de Van der Waals o puentes de hidrogeno, en si los iones del adsorbato se liberan en la superficie del adsorbente fácilmente, también presenta como características:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Necesita una baja cantidad de energía entre (-5 a -40 Kcal/mol) -Es un fenómeno general -Se produce a temperaturas bajas. -Es reversible reduciendo la presión -Tiene una mayor velocidad en el proceso, pues no requiere energía de activación. -Las moléculas se pueden distribuir en varias capas alrededor del adsorbente (Fernández, 2011)(Valladares <i>et al.</i>, 2017), (Solis, 2017) 	<p>En este tipo de adsorción se da por enlaces covalentes entre los grupos funcionales específicos del adsorbente y los iones de adsorbato, durante el proceso la superficie del adsorbente se modifica generando un nuevo adsorbente y presenta como características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Necesita una alta cantidad de energía entre (40 a -800 Kcal/mol). -Es un proceso que ocurre en sitios específicos de la superficie del adsorbente. -Se produce a temperaturas altas en vista de que ocurren enlaces químicos. -Se comparten e intercambian electrones. -Es irreversible, es necesario temperaturas elevadas para obtener la desorción del adsorbato. -Velocidad del proceso menor ya que requiere energía de activación. -Se modifica la estructura molecular ya que se forman nuevos enlaces químicos. (Fernández, 2011), (Valladares <i>et al.</i>, 2017), (Solis, 2017)
	

Fuente: (Valladares *et al.*, 2017)

Estos tipos de adsorción se encuentran conectados ya que la fisiadsorción es un proceso previo a la quimisorción. (Alvárez & Carrasco, 2016). Y en relación a la interacción del adsorbente vegetal (*Zea mays L*) con los iones de níquel en proceso de fisiadsorción ocurre por la captura de iones metálicos en la primera capa del adsorbente vegetal, mientras que la quimisorción se da en sitios activos del adsorbente que presenten grupos funcionales como: hidroxilo, carboxílicos y carbonilos. (Villabona *et al.*, 2018) resaltando la acción de los sitios presentes en las hojas de mazorca de maíz. No obstante la interacción de este adsorbato y adsorbente puede darse quizás en una alta afinidad ya que según Tejada, *et al.*, (2015) los iones de níquel puede llegar a tener variedad de preferencias de ligandos. Lo cual puede llegar a beneficiar dichas reacciones químicas.

Por otra parte otro factor a tener en cuenta es la cinética la cual permite conocer con que velocidad se desarrolla una reacción química hasta el punto de llegar a aproximarse al equilibrio. (Herrera, 2019). Y según Castro *et al.*, (2013) los modelos cinéticos constan de 3 fases la primera hace referencia a la transferencia de los metales pesados desde el agua contaminada hacia el bioadsorbente, la segunda fase es la adsorción de los iones en el adsorbente y finalmente su difusión interna, este proceso se le conoce como capacidad de adsorción.

Otro factor importante para el desarrollo del proceso es el tiempo de sorción del metal para el diseño y evaluación del bioadsorbente, que a su vez se define la cantidad de metal relación a la concentración inicial y final del metal en un tiempo determinado. (Castro, *et al.*, 2013).

Ecuación 1

Cantidad de Metal Removido en un Tiempo Específico

$$q_t = \frac{V \times (C_0 - C_f)}{m}$$

- V =volumen de la solución
- m =masa del bioadsorbente
- C_0 =concentración inicial del metal pesado
- C_f =concentración final de metal pesado en un tiempo específico

Por otro lado el uso y calidad del bioadsorbente orgánico se encuentra relacionado con la cantidad de metal pesado que puede llegar a atraer o retener en forma inmovilizada. La capacidad de remoción del residuo depende de la carga, punto isoeléctrico del bioadsorbente y un parámetro muy importante es el pH en la solución. (Ale Borja *et al.*, 2015)

5.1.4.2.2 Bioadsorción.

Es un proceso fisicoquímico metabólicamente pasivo que depende de un equilibrio cinético para la eliminación de contaminantes, en el cual la concentración del adsorbato (metales pesados) se adsorbe en la bio-superficie del adsorbente, en general esta superficie biológica es biomasa viva o no viva, se considera un mecanismo rápido y reversible. (Sahu & Singh, 2019). Existen una variedad de materiales disponibles en la naturaleza que se han usado en la remoción de metales pesados como se ve en la **Tabla 10**

Tabla 10

Materiales Residuales Utilizados en la Remoción de Metales Pesados

Tipo de bioadsorbente	Metal	Capacidad /eficiencia (mg/g o %)	Isotermas /cinéticas	Grupo funcional (involucrado)	Mecanismo	Autor
Cáscara de arroz	Ni(II)	51,8%	Langmuir y Freundlich	-OH, C=O	Adsorción	(Bansal , Singh, Garg, & Rose, 2009)
Cáscara de cacahuete	Cu	12 mg/g	Langmuir	-OH,C	Intercambio iónico	(Johnson, Watson, Brown, & Jefcoat, 2002).
Pajas de cebada	Cu, Pb	4.64 mg/g 23.30 mg/g	Langmuir	(-COOH)	Quimisorción e intercambio iónico	(Pehlivan, Altun, Cetin, & Bhangar, 2009).
Cáscara de coco verde	Cr(III), Cr(VI), Cd(II)	90%, 86%, 99%	Freundlich	-OH, C=O	Intercambio iónico	(Pino, de Mesquita, Torem, & Pinto, 2006)
Repollo desechos de coliflor	Pb(II)	60.57% 47.63mg/g	Langmuir	OH, C=O	Quimisorción	(Hossain, Ngo, Guo, Nguyen, & Vigneswaran, 2014)
Residuos de cáscara de yuca	Cu(II), Cd (II)	127.3 mg/g 119.6 mg/g	Langmuir	-OH	Intercambio iónico	(Horsfall & Spiff, 2004)
Residuos de té	Cr (VI)	54.65 mg/g	Langmuir	-OH, SO, C-O, -CN	Adsorción	(Malkoc & Nuhoglu, 2007)
Residuos de mazorca de maíz	Cr (IV)	14.81% 208.93 mg/g	Langmuir, Freundlich	OH, (C=O)	Adsorción batch	(Villabona <i>et al.</i> , 2018)

Fuente: (Bansal *et al.*, 2009), (Johnson *et al.*, 2002), (Pehlivan *et al.*, 2009), (Pino de Mesquita *et al.*, 2006), (Hossain *et al.*, 2014), (Horsfall & Spiff, 2004), (Malko & Nuhoglu, 2007), (Villabona *et al.*, 2018)

Cabe resaltar que la captación de los metales pesados de esta clase de materiales ocurre a través de interacciones con grupos funcionales que contienen oxígeno proveniente de la pared celular bioadsorbente y pueden variar según la naturaleza del bioadsorbente. (Tonk, Nagy, Török, Indolean, & Majdik, 2015).

Es por ello que el mecanismo de bioadsorción puede ser una herramienta viable para garantizar la calidad de un recurso vital como lo es el agua, el cual tiene como objetivo principal encontrar un bioadsorbente eficiente, efectivo, económico y ecológico para remover metales pesados en aguas residuales proveniente de diversas actividades industriales como la mecánica, la electricidad, la electrónica, curtido, galvanización, industria petrolera o minería, no obstante la mayoría de estos trabajos científicos ha sido a escala laboratorio. (De la Jara , Assunção, Portillo, Freijanes, & Mendoza, 2016). En vista de que esta alternativa puede ser un mecanismo viable para mitigar los impactos ambientales que se han generado en el recurso hídrico en la presente investigación se utilizó residuos vegetales de hojas de mazorca de maíz para la bioadsorción de níquel (Ni) en agua residual de una empresa Galvánica.

Por otro lado según González *et al.*, (2017) la bioadsorción presenta varias ventajas comparada con otros tipos de tratamiento como:

- Alta eficiencia para bajas concentraciones de metales.
- Eficiencia para una amplia gama de condiciones de pH y temperatura.
- Recuperación fácil de material adsorbido.
- Producción fácil y barata de biomasa.
- Trabaja con biomasa no viva, reduciendo la posibilidad de contaminación, efectos tóxicos y actividades metabólicas.

Características de un adsorbente

En relación con los adsorbentes sólidos según Valladares *et al.*, (2017) se tiene en cuenta las siguientes características:

- Un alta porosidad lo cual aumenta el área superficial, y la velocidad.
- Gran cantidad superficie de contacto.
- Presenta sitios definidos de adsorción.

En relación con el tamaño de partícula del adsorbente según lo afirma Noor *et al.*, (2017) solo afecta en fase líquida cuando el acceso y disponibilidad de los poros dependa del tamaño de la partícula, se debe tener en cuenta que un buen sólido se caracteriza por combinar las dos gamas de poro: micro poros y macro poros. Aunque dentro de la clasificación de la IUPAC se encuentran los siguientes tamaños de poro ver **Tabla 11**.

Tabla 11

Clasificación IUPAC Tamaños de Poros

Tipo de poro	Características
Microporo	Diámetro igual a inferior a 2nm eficientes en la retención de moléculas pequeñas.
Mesoporo	Diámetro entre 2nm y 50nm siendo eficientes en la adsorción de molécula con tamaños intermedios.
Macroporo	Diámetros que superan los 50 nm

Fuente (Noor *et al.*, 2017)

Regeneración del adsorbente

Es una fase esencial para el tratamiento de aguas contaminadas, se lleva a cabo por intercambio de protones utilizando ácidos minerales y orgánicos que reduce el costo de recuperar adsorbatos, se encuentran varios de adsorbentes como: NaOH, H₂SO₄, HCl, HNO₃ metanol, etanol, ácido acético. (Qin, Hu, Zhai, Lu, & Aliyeva, 2019) . Este proceso puede

prevenir eficazmente la contaminación secundaria causada por el uso de adsorbentes de residuos. (Anirudhan & Screekumari, 2011).

Por otro lado dentro de los métodos para la regeneración de adsorbente están: la extracción con solventes, calcinación y métodos biológicos. El primero consiste en usar un solvente adecuado para extraer el adsorbato del adsorbente. El método de calcinación se basa en adsorber el adsorbente a alta temperatura para convertir el adsorbato en un gas o una sustancia volátil recuperando así la capacidad de adsorción del adsorbente. Los métodos biológicos se utilizan microorganismos para desorber el adsorbente y lograr la regeneración del adsorbente siendo a bajo costo. (Dai, y otros, 2018)

Sitios activos

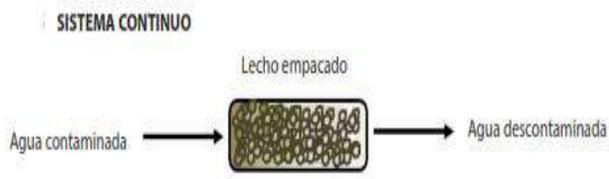
Son considerados como el sitio de interacción entre el adsorbato y la superficie del adsorbente y según (Ramos, 2010), en solución acuosa las características de la superficie del adsorbente dependerán de las interacciones entre los complejos superficiales y el medio, según sea el pH en el mismo, en la superficie unos grupos funcionales ceden protones y otros aceptan, los que ceden protones son los sitios ácidos y los que aceptan sitios básicos; las superficies ácidas son causadas por la presencia de grupos carboxílicos y de anhídridos cíclicos, lactonas y grupos hidroxilo o de carácter fenólico (p.36). A su vez los sitios activos permiten definir el comportamiento de los dos componentes del adsorbato como del adsorbente.

a. Ensayos discontinuos y continuos

En la **Tabla 12** se muestran las características básicas de estos ensayos.

Tabla 12

Comparación de Ensayo Discontinuo y Continuo

Ensayo discontinuo	Ensayo continuo
<p>Una cantidad determinada de sólido se mezcla continuamente con volumen fijo de líquido objeto del tratamiento cargado con un contaminante, manteniendo una agitación constante, la concentración de soluto en contacto con adsorbente decrece a medida que la adsorción ocurre. (Torres & Vanegas, 2018)</p>	<p>Una columna con una cantidad conocida del adsorbente que tiene un contacto permanente con el contaminante, mientras el agua cargada con contaminante fluye a través del lecho estas primeras capas se saturaran, convirtiéndose en capas no efectivas en la capa de adsorción. (Torres & Vanegas, 2018)</p>
 <p>SISTEMA CON AGITACIÓN</p>	 <p>SISTEMA CONTINUO</p>

Fuente: (Torres & Vanegas, 2018)

b. Mazorca de maíz (*Zea mays L*) como Alternativa en la Remoción de Metales Pesados

En el presente espacio se aborda los elementos teóricos, que fundamentan el uso de residuo vegetal como las hojas de mazorca de maíz para la remoción de elementos contaminantes como los metales pesados.

Clasificación taxonómica de la mazorca de maíz

Tabla 13

Clasificación Taxonómica (*Zea mays L.*)

Clase	Magnoliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Genero	Zea
Especie	<i>Zea mays L.</i>

Fuente: (ITIS, 2019)

En Colombia se encuentra distribuida en Amazonia, Andes, Guayana y Serranía de La Macarena, Llanura del Caribe, Orinoquia, Pacífico, Sierra Nevada de Santa Marta, Valle del Cauca, Valle del Magdalena. (Catálogo de Plantas y Líquenes de Colombia, 2019)

c. Residuos de Hojas de Mazorca de maíz alternativa para la remoción de metales

Según Berber *et al.*, (2018), aproximadamente 144 millones de toneladas al año se producen a nivel mundial de mazorca de maíz y la mayoría se descarta o se quema (p. 2) es por ello que en los siguientes apartados se da a conocer diversos estudios donde utilizan este residuo para el tratamiento de metales pesados.

Composición química de residuos agrícolas

En una investigación realizada sobre las características de este tipo residuos agrícolas indican que tiene componentes estructurales como: La lignina, celulosa y hemicelulosa (Salleh *et al.*, 2011). La lignina es considerada biheteropolímero, que está compuesto por unidades de fenilpropanos, los cuales se asocian generando estructuras polifenólicas. A su vez la hemicelulosa como la celulosa contienen grupos funcionales de oxígeno que incluyen grupos carboxilo, grupos hidroxilo y éter, estos grupos funcionales pueden unirse a iones de metales

pesados y contaminantes orgánicos de molécula pequeña jugando un papel importante en las características y preparación de los adsorbentes. (Yang *et al.*, 2015)

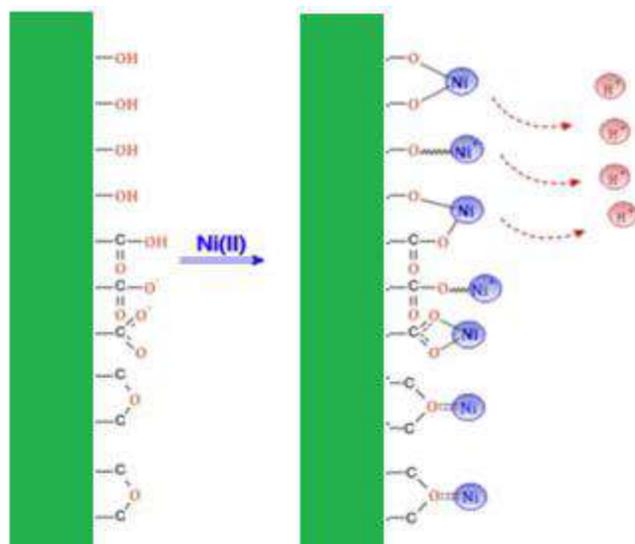
Basado en la estructura de estos compuestos, se ha demostrado un posible mecanismo de intercambio iónico teniendo en cuenta los grupos funcionales como carboxilo, amino o fenólico que tienen la capacidad de unir metales pesados con la donación de un par de electrones de estos grupos para generar complejos con los iones metálicos en solución mediante grupos funcionales químicos como: carboxilo, amino o fenólicos. (Torres & Vanegas, 2018)

El posible mecanismo de adsorción de iones de níquel siendo el adsorbato y las hojas de mazorca de maíz el adsorbente el cual para la presente investigación se utiliza de manera inactiva y teniendo en cuenta lo que afirma Almendros, (2016) los grupos funcionales que presenten oxígeno favorece la adsorción de metales pesados. Las hojas de mazorca de maíz presentan grupos funcionales en los componentes de la lignina y hemicelulosa como: carboxilo, carbonilo e hidroxilo, expuestos en la superficie monocapa, estos grupo pueden llegar a interactuar con los iones de níquel con mecanismo de unión ya sea de intercambio iónico o interacción electroestática esta reacción libera iones de H^+ en el medio, permitiendo que estos sitios puedan ser ocupados por los iones de níquel, a su vez llegan a formar óxidos e hidróxidos Ver

Figura 3

Figura 3

Possible Mecanismo de Adsorción de Iones de Níquel con adsorbente de Hojas de Mazorca de Maíz



Superficie de Adsorbente de Hojas de Mazorca de Maíz

Fuente: Tomada y Adaptada por autores de (Islam *et al.*, 2019)

La anterior interacción puede darse según Villabona *et al.*, (2015) por la versatilidad que tiene el níquel metálico el cual puede reaccionar con diferentes ligandos encontrándose en los de tipo I, al ligando de hidroxilo y carboxilo los cuales están en la superficie del presente adsorbente estudiado de las hojas de mazorca de maíz.

Por otro lado, en la investigación realizada en Cuba por los investigadores, Vera *et al.*, (2015), quienes utilizaron mazorca de maíz para la remoción de metales pesados de aguas residuales del sector minero, indican que este material presenta grupos funcionales como: alquilos, hidroxilos, aminos, éter, celulosa y lignina a su vez que la cantidad de sitios libres dependen del pH, cuando los grupos de unión del metal son débilmente ácidos tienden a ceder protones en medio básico y los básicos captan los protones en medio ácido, estableciendo como conclusión que el pH puede establecer las características del bioadsorbente (p.138)

Por otra parte, en el Estudio realizado por Sallau, Aliyu & Ukuwa (2012) en Nigeria, trabajaron con polvo de mazorca de maíz (*Zea mays L*) para remover Cr (VI) con el proceso de biosorción el cual indican es uno de los procesos que resulta ser atractivo para eliminar productos químicos peligrosos y nocivos para el ambiente y cuyos resultados reportados de remoción fueron de un 73%. (p. 134). También indican que parece ser una alternativa económica y prometedor comparada con los métodos convencionales, a su vez afirman que la biosorción se puede considerar como uno de los procesos promisorios para eliminar productos químicos peligrosos y nocivos para el ambiente (p.132).

En otra investigación realizada por Babarinde *et al.*,(2006) en Nigeria indican que los metales pesados como el cobalto, el cobre, el níquel, el cromo, el plomo y el zinc se detectan en las corrientes de desechos de las operaciones mineras, curtiembres, productos electrónicos, galvanoplastia y es por ello que utilizan las hojas de mazorca (*Zea mays L*) para remoción de Plomo (II) en cuyos resultados indican que las hojas tienen potencial para eliminar los iones de plomo de las aguas residuales (p. 023).

Por otro lado en la India la investigación realizada por Muthusamy *et al.*, (2012), utilizaron la tusa de mazorca de maíz para remover el metal pesado de níquel (II) de aguas residuales industriales de una empresa de electricidad, cuyos resultados arrojaron una disminución en el porcentaje de adsorción debido a la falta de una amplia superficie para acomodar los iones de níquel, no obstante concluyen que la tusa de mazorca tiene un buen potencial como un adsorbente para eliminar metal pesado tóxico como el níquel de aguas residuales industriales siendo un bioadsorbente de bajo costo desarrollado (p.7).

En otra investigación realizada en India por Arunkumar *et al.*, (2014) evaluaron el mecanismo de acción de la mazorca de maíz como adsorbente de iones de níquel con una solución stock de sulfato de níquel sus resultados indican una remoción máxima en el adsorbente de 70,08%, concluyendo que este residuo vegetal resulta ser una alternativa económica y eficiente en la remoción de metales pesados como el níquel. (p. 329)

En México un estudio que realizó García & Colín, (2010). Utilizaron tallo de mazorca (*Zea mays*) para la remoción de Plomo (II) dichos resultados indican que el tallo como bioadsorbente tuvo una máxima capacidad de adsorber el metal pesado Plomo de 80 mg g^{-1} también, los autores de esta investigación indican que los métodos convencionales para la reducción de metales pesados en aguas residuales como: Precipitación química, oxidación química, la reducción, intercambio iónico y tratamiento electroquímico no solo tienen desventajas significativas, incluida la eliminación incompleta de metales, sino que también son costosas (p.2079).

En relación con Colombia la investigación realizada por Villabona *et al.*, (2018) en la Ciudad de Cartagena, utilizaron biomasa de Mazorca de Maíz como bioadsorbente para eliminar el Cr (VI) de la solución acuosa, la biomasa la modificaron con ácido cítrico para evaluar la influencia de esta modificación química en la capacidad de adsorción de ambos materiales, la cual arrojó como resultado la caracterización del adsorbente por espectroscopia de infrarojo de los grupos funcionales presentes antes y después de la adsorción correspondieron a lo mostrado en la **Tabla 14**.

Tabla 14*Grupos Funcionales Presentes en la Mazorca de Maíz (Zea mays L)*

Biomasa de maíz	Banda de adsorción	Grupos funcionales
	3000 cm-1	OH
	1732-1615 cm-1	Grupo carbonilo (C=O)
Sin modificación de biomasa	1684-1558 cm-1	Doble enlace C=C, C-H y C-O
Modificación de biomasa con ácido nítrico	3340 cm-1	OH

Fuente: Tomado y Adaptada por autores de (Villabona *et al.*, 2018)

Según Villabona *et al.*, (2018) estos grupos característicos los grupos carboxilo, anillos aromáticos, metilo, metoxi e hidroxilo ampliamente presentes en los componentes de pectina, hemicelulosa y lignina de la biomasa de maíz, en relación a la capacidad de adsorción obtuvieron una remoción de 14.81 mg/g sin modificación química de biomasa y 208,93mg/g con modificación de biomasa con ácido cítrico, indicando los autores que estos bioadsorbentes ofrecen una alternativa excelente para mitigar las afectaciones ambientales de los metales pesados en las fuentes de agua y reutilizar los desechos agrícolas. (p. 1406). Este es el único caso conocido en Colombia en donde utilizan la biomasa de Mazorca de Maíz como bioadsorbente pero en solución realizada en laboratorio no como mecanismo de remoción de metales en aguas residuales industriales como se observa en el presente párrafo.

5.1.5 Sostenibilidad en los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales

El sistema tratamiento de las aguas residuales provenientes de las industrias de galvanotecnia puede ser abordado desde el punto de vista sostenible con la implementación de un marco legislativo e institucional que permita regular y establecer las normas de, control y gestión de las aguas residuales que se generen en el proceso productivo de las empresas que se dedican a esta rama de la industria. (Caballeiro, Dockweiler, & Rojas, 2014). Esto a su vez

se relaciona con la viabilidad enfocada desde varios puntos como lo técnico económico y ambiental.

5.1.6 *Viabilidad Técnica, Económica y Ambiental*

Según Chain, (2011), para la aprobación de cualquier proyecto es preciso estudiar al menos tres viabilidades. En la presente investigación se tienen en cuenta las que se exponen en **Tabla 15** y en el apartado de metodología se explicaran los criterios.

Tabla 15

Viabilidades a Evaluar en el Presente Proyecto

Viabilidad	Descripción Función
Técnica	Determina la posibilidad física o material de hacer un proyecto.
Económica	Define, mediante la comparación de los beneficios y costos estimados de un proyecto, si es rentable la implementación y eficiente.
Ambiental	Determina el impacto que tendría la realización del proyecto sobre las variables del entorno ambiental. Abarca componentes legales.

Fuente: (Chain, 2011)

Viabilidad Técnica

En relación a la viabilidad técnica Escobar & Ocampo, (2017) afirman que:

Abarca los aspectos técnicos operativos necesarios para el uso eficiente de los recursos disponibles en la producción de un bien o servicio deseado, localización, organización, e instalaciones requeridas y aspectos legales. La importancia de la viabilidad técnica se enfoca en determinar las variables técnicas del proyecto que permitan una apreciación aproximada de los recursos necesarios para el proyecto. (p.65).

Viabilidad económica

Esta permite dar a conocer los costos de inversión, de operación y mantenimiento requeridos, así como el capital de trabajo necesario, siendo un resultado a la fase anteriormente evaluada “viabilidad técnica”, que tendrá una gran utilidad en la evaluación de rentabilidad económica de un proyecto, en si se definen los costos totales y costos de inversión inicial que dependerán de la tecnología seleccionada. (Baca, 2013).

Para esta viabilidad la proyección de flujos de caja es un mecanismo apropiado en el cual según Manríquez, (2016) “se representan en varias columnas los momentos en que se generan los costos y beneficios de un proyecto”. (p.45). También se tienen en cuenta los indicadores de decisión en base a la rentabilidad como el Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR). Siendo:

a. El VAN:

El criterio de selección al utilizar Valor Actual Neto (VAN) según Manríquez, (2016) es el siguiente:

1. Si el VAN es positivo: Es conveniente ejecutar el proyecto.
2. Si el VAN es igual a cero: Es indiferente ejecutar el proyecto.
3. Si el VAN es negativo: Es inconveniente ejecutar el proyecto. (p.34) .En si mide la rentabilidad del proyecto después de recuperar toda la inversión.

b. La TIR :

Segundo criterio de evaluación, este mide la rentabilidad en porcentaje o valores positivos o negativos, determina el interés que un capital gana. (Sapag, 2011)

El criterio de decisión que se debe tener en cuenta con la TIR según MIDEPLAN, (2013) es:

1. Si la TIR es mayor que la tasa social de descuento: Es conveniente ejecutar el proyecto.
2. Si la TIR es igual que la tasa social de descuento: Es indiferente ejecutar el proyecto.
3. Si la TIR es menor que la tasa social de descuento: No es conveniente ejecutar el proyecto.

Viabilidad ambiental

Se realiza con el fin de evaluar el resultado de cualquier actividad o proyecto, es decir permite detener o minimizar el impacto de un evento peligroso que dificulta el uso, afecta o destruye el bienes o servicios ambientales que son pilares para la mejora de la calidad de vida del ser humano. (González & Vallejo, 2017). Cabe resaltar que esta viabilidad incluye las dos viabilidades anteriores, y a su vez abarca los componentes legales que indican el cumplimiento normativo sobre el impacto ambiental.

5.2 MARCO LEGAL

5.2.1 *Legislación del agua en Colombia*

Este marco alude a las normas constitucionales y legales más importantes de Colombia, relacionadas con la contaminación y tratamiento de metales pesados para la industria de la galvanotecnia, específicamente para una empresa de galvanotecnia ubicada al Centro de la ciudad de Bogotá que, se omite el nombre, por razones de confiabilidad y se viene

denominando la empresa Galvanotécnica. En **Tabla 16** se describe una síntesis de sus contenidos constitucionales y legales.

Normatividad colombiana del agua

Este estudio se enmarca normativamente en el Documento CONPES 1750 de 1995, por el cual estipula la “Política nacional del agua” que indica realizar los siguientes pasos: Ordenar las actividades y usos del suelo en las cuencas; proteger acuíferos humedales y otros reservorios; proteger y recuperar zonas de nacimiento, páramos, estrellas hidrográficas; reducir la contaminación y recuperar las condiciones de calidad de las fuentes de agua y orientar el uso eficiente del agua. También se tiene en cuenta la Política Nacional de Cambio Climático, la cual se encuentra conectada a la estrategia de manejo y conservación de ecosistemas y sus servicios ya que se pretende incentivar la conservación y restauración de ecosistemas favoreciendo la adaptación al cambio climático en relación a los servicios como el recurso hídrico (Documento CONPES). En la **Tabla 16** se observa la legislación colombiana que se tiene en cuenta para el presente proyecto, no obstante la principal resolución es la 0631 de 2015 que hace referencia a los límites permisibles de metales pesados por parte de este tipo de industriales.

Tabla 16*Marco Constitucional y Legal Colombiano*

Constitución Política Colombiana (1991). Asamblea Nacional Constituyente
Contenido de la Norma
Artículo 79. Capítulo 5. Artículo 95
Ley 99 de 1993
Título I. Art. 10. Art 11
Decreto 2811 de 1974
Título I Capítulo I. Art. 77. Título I Capítulo II. Art. 80, Título II. Artículo 86, Título III. Capítulo I. Artículo 99, Título VI. Capítulo II. Artículo 135, Artículo 136, Artículo 138, Título VIII Capítulo único. Artículo 155.
Política Nacional Para la Gestión Integral de Recurso Hídrico
Resolución 0631 de 2015
Capítulo II. Artículo 3, Capítulo VI. Artículo 13, Capítulo VII. Artículo 15
Resolución 1096 de 2000 por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS
Artículo 149
Decreto 3930 de 2010
Artículo 59
Ley 1333 de 2009
Aplica para proceso sancionatorio ambiental

Fuente: Elaborado por la autora de esta investigación sobre la Constitución Política Colombiana de 1991, las Resoluciones 1096 de 2000, 0631 de 2015, los Decretos 3930 de 2000, y 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 descritos. Bogotá, marzo 25 de 2018.

6 MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 MATERIALES Y EQUIPOS

6.1.1 *Material Vegetal*

Se inició con la obtención de las hojas de mazorca de maíz (*Zea mays L*) en CERES de la calle 68 de manera gratuita, se trasladó el material al Tecnoparque (SENA) Chapinero donde se desarrolló el proceso no obstante las lecturas de parámetros fisicoquímicos incluidos los metales pesados se llevaron las muestras a un laboratorio acreditado como se explica en los siguientes apartados.

6.1.2 *Reactivos Químicos y Material de vidrio, porcelana y Plástico*

Los instrumentos que fueron utilizando se exponen a continuación:

- 50 mL HCl al 1 N
- 50 mL NaOH al 1 N
- 6 L Agua destilada
- 6 Crisoles
- 1 Balanza analítica
- 2 Vidrio reloj
- 3 Probeta 3000mL

-

6.1.3 *Equipos*

- 2 Shaker
- Balanza analítica Marca Denver Instruments Modelo A-200

- Espectrofotómetro de absorción atómica Thermo Instruments (el cual fue el utilizado por el laboratorio acreditado).

6.1.4 Población y Muestra de Estudio

En vista del complejo acceso que permiten este tipo de industrias el desarrollo de esta investigación se realizó con una sola empresa.

Teniendo en cuenta que:

Población: Aguas residuales de la empresa Galvanotécnica de la ciudad de Bogotá

Muestra: Un tanque con 20 litros de agua residual galvánica. Esta selección se soporta con lo reportado por Gómez *et al.*, (2018) y se especifica en los siguientes apartado.

6.1.4.1 Variables de la Investigación

Se tuvo en cuenta las siguientes variables:

Como variables dependientes:

- La concentración de Ni removida después del proceso de bioadsorción en el agua galvánica tratada. Que se compara con la normatividad ambiental
- Capacidad de adsorción de las hojas de mazorca de maíz
- Como variable independiente
- La cantidad de adsorbente usado.

6.2 MÉTODOS

6.2.1 *Caracterización del Agua Residual Galvánica*

A continuación, se presenta la metodología para alcanzar el cumplimiento primer objetivo de la presente investigación.

6.2.2 *Selección empresa Galvánica*

Para esta fase se tuvieron en cuenta como criterios de selección:

- Que la empresa mantuviera un constante proceso productivo.
- Que fuera del sector galvánico ya que esta es una de las industrias que genera mayor afectación al recurso hídrico con la utilización de elementos químicos y que presentan una alta concentración de metales pesados.
- Que tuviera ubicación en el centro de Bogotá ya que es uno de los sectores con mayor afectación ambiental.
- Posteriormente se realizaron las respectivas visitas para conocer el proceso Galvánico que esta realiza.
- Conocer el tratamiento de aguas residuales para determinar en qué etapa se genera una mayor concentración de contaminación por metales pesados, para ello se usó un check list **Anexo 1**.

6.2.3 *Caracterización de las Operaciones Unitarias Desarrolladas por la Empresa galvanotécnica.*

Se obtuvo que la empresa trabaja semanalmente en 60 piezas y estas presentan tres fuentes de materias primas ya sea de: (Aluminio que consta de 5 etapas), (Hierro o ZAMAC que constan de 4 etapas) en los siguientes apartados se hace referencia a estas etapas.

6.2.3.1 Proceso de Recubrimiento Metálico con Materias Primas de Aluminio

El proceso inicia con el pulimiento ver **Figura 4** y posteriormente estas piezas se cuelgan en alambres de cobre para luego ser sumergidas en el baño de desengrase (M1) para eliminar las impurezas. Después se sumergen en tres canecas plásticas con agua, con el fin de eliminar cualquier contaminante que por arrastre puede llegar a contaminar la siguiente fase. Luego, las piezas se introducen a una caneca plástica que contiene una solución de ácido sulfúrico “Decapado-Neutralizante” (M2) para eliminar impurezas que tengan las piezas. Ver **Anexo 11**, después se sumergen en tres enjuagues para eliminar restos de contaminantes que pueden afectar el proceso, luego las piezas se sumergen en el baño de cincato (M3), para fines decorativos.

Figura 4

Pulimiento de Piezas para Galvanizado



Fuente: (Propia, 2019)

Posteriormente las piezas se sumergen en solución de ácido nítrico (Decapado-Neutralizante) “M4” con el fin de eliminar impurezas que aun contengan las piezas de aluminio, acto seguido se pasan por tres enjuagues. Después la pieza se pasa al baño de cobre, cuya función es dar protección aumentando su resistencia al desgaste y oxidación, luego se sumergen en tres estanques de enjuagues. Ver **Anexo 11**

Luego se sumergen nuevamente en neutralizante de ácido sulfúrico (decapado), y luego se sumergen en los tres enjuagues. Acto seguido se sumerge en el baño de níquel cuya función, es dar protección aumentando su resistencia al desgaste y oxidación, después se sumergen a tres enjuagues con H₂O.

Posteriormente se sumerge en el baño de cromo con el fin de darle dureza, resistencia a la corrosión, luego se pasan a tres enjuagues de H₂O y por último pasa al proceso de secado.

Ver **Figura 5**

Figura 5

Secado de Piezas al Final del Proceso Productivo



Fuente: Propia, (2019)

6.2.3.2 Proceso de Recubrimiento Metálico con Materias Primas de Hierro y/o ZAMAC

En relación al ZAMAC es de aclarar que es producto de una aleación de varios metales tiene como componente principal: zinc, aluminio, magnesio y cobre. Y el proceso productivo es el mismo que en el de Aluminio y se utilizan los mismos baños excluyendo el baño de cincato como se explica en la **Anexo 12**.

Cabe resaltar que la empresa utiliza un proceso de lavado secuencial en cascada en estanques de las piezas o materia prima que la empresa utiliza (partes de carros). En este caso como lo afirma Barreto & Buitrago (2018) este tipo de lavado se realiza con el fin de reducir los requerimientos de agua en un porcentaje notorio a su vez, genera menos arrastres en el proceso por ende menos contaminante también en la empresa no es frecuente la renovación de los baños metálicos.

Con esta descripción del proceso productivo de la empresa, se determinó que los enjuagues de los baños metálicos son los que contribuyen en mayor parte a la alta concentración de metales en las aguas residuales que se generan, por lo cual se seleccionaron estas aguas para la continuación de esta investigación.

6.2.4 Tratamiento de Aguas Residuales de la Empresa Galvanotécnica

La empresa utiliza el tercer enjuague de cada baño ya sea de desengrase, neutralizante, baños metálicos de Cromo, Cobre y Níquel para el tratamiento de las aguas residuales. Ver **Figura 6** . A su vez tratan 380 litros cada dos meses.

Figura 6

Tratamiento de Aguas Residuales de la Empresa Galvánica



Fuente: (Propia, 2019)

Inicialmente unifican el agua residual del desengrase (AR1) y neutralizantes o decapado (AR2) y (AR4), para neutralizarlas, posteriormente las dejan sedimentar en tanque agitador, y separan el agua que está lista para verter ver **Tabla 17** y **Anexo 11**. A su vez utilizan el floculante polielectrólito catiónico ZOU7C, cuyo mecanismo de acción según Alcázar, (2014) es la formación de puentes entre los flóculos y la unión de partículas y una vez en suspensión pueden ser removidas, sin embargo, este método no puede tratar completamente los metales pesados presentes en el agua lo cual genera una afectación ambiental al recurso hídrico ya que se concentran estos elementos altamente tóxicos que contribuyen a disminuir la calidad del recurso y a su vez generan problemas de salud pública.

Posteriormente el agua residual de cobre (AR5) lo unifican con el agua residual de cincato (AR3) para ser tratado como se puede observar en la **Tabla 17** y **Anexo 11** se colocan en el tanque agitador después se deja sedimentar para la separación de lodos como base inicial para el tratamiento primario y secundario se explican de manera más detallada en el **Anexo 5**.

Tabla 17

Tratamiento de Aguas Residuales Empresa Galvanotécnica

BAÑOS A TRATAR	PROCESO TRATAMIENTO PRIMARIO Y SECUNDARIO
DESENGRASE Y NEUTRALIZANTE ZINCATO Y COBRE	Los enjuagues de desengrase y los neutralizantes se unifican y se dejan precipitar y se filtra. Los enjuagues de cincato Cobre cianurado se unifican se sube pH entre (12-14) con soda caustica a temperatura ambiente para luego aplicarle hipoclorito de sodio para romper los cianuros y convertirlos en cianato proceso de oxidación, se precipita y filtra.
CROMO	Se realiza por reducción se usa bisulfito sódico está en pH 0,8-1,5 ocurre un proceso de óxido reducción de +6 a +3 luego se precipita el Cromo se sube pH entre 10,5-12 con sosa caustica.

NÍQUEL	Trabaja a pH 4,2-4,8 las aguas de enjuague para tratar el agua se sube a pH entre 12-13 con soda caustica y se deja que se precipite. Posteriormente se realizan proceso de filtración al vacío utilizando seda poliéster.
LODOS	Se unifica se deja secar lodo por gravedad. Y se coloca en empaque para enviar a Biolódos.

Fuente: (Empresa galvanica, 2019)

No obstante, para el tratamiento de estas aguas de cobre es necesario realizar la oxidación de Cianuros estos son elementos altamente tóxicos y para ello la empresa utiliza hipoclorito de sodio.

Por otro lado el tratamiento de las aguas residuales de cromo se realiza un proceso de reducción de cromatos, esto debido a que el cromo se encuentra en estado de oxidación de Cr^{+6} siendo este altamente toxico, se hace necesario reducirlo a un componente menos tóxico como Cr^{+3} como se observa en la **Tabla 17** con bisulfito de sodio y se explica de una manera más detallada en el **Anexo 6**. Estos componentes evidencian la creciente necesidad que tienen estas industrias de encontrar mecanismos que les permitan tratar sus aguas de una manera amigable con el ambiente y a bajo costo.

Por último se encuentra el tratamiento de las aguas residuales de níquel y utilizan el tercer enjuague y se hace necesario realizar un proceso de precipitación utilizando soda cáustica como se observa en **Tabla 17** y de manera más detallada en el **Anexo 7**.

Aunque durante en el proceso se utilizan bombas de vacío para efectuar la filtración, se presentan inconvenientes ya que es muy dispendioso, demorado y requiere de varios días para poderlo desarrollar. Los inconvenientes también se deben a que algunos equipos con los que trabaja la empresa tienen varios años de uso lo cual hace

que se recaliente en el proceso del tratamiento de agua. De igual forma se hace necesario comprar elementos como: tela de lino poliéster para cada metal pesado, reactivos como hipoclorito de sodio, peróxido de sodio. Dichos elementos contribuyen a cumplir con el objetivo dentro del tratamiento de las residuales con el fin de disminuir la concentración de diferentes elementos tóxicos en el agua.

También debido al costo del análisis la empresa solo realiza la verificación de concentración de metales pesados ya terminado el proceso de terciario del tratamiento es por ello que el desarrollo del tratamiento lo realizan durante varios periodos de tiempo.

Como tratamiento terciario la empresa galvanotécnica usa las zeolitas y resinas de intercambio catiónico con el fin de remover metales pesados de cromo, cobre y níquel presentes en el agua residual el cual se explica en manera detallada en el apartado de viabilidad técnica.

6.2.5 Toma de muestras agua residual de la empresa con Tratamiento Primario y Secundario.

Ya conociendo el proceso productivo de la empresa se realizó una toma de muestras de agua residual, según lo estipulado por el IDEAM de cómo debe ser la toma y embalaje de las muestras ver **Anexo 2** para parámetros fisicoquímicos como: Sólidos sedimentables, Sólidos Suspendidos Totales, pH, Turbidez, Temperatura, Oxígeno disuelto, Conductividad eléctrica, se utilizó un recipiente de plástico de 2 litros previamente esterilizado en el cual se colocó el agua residual sin tratar extraída de las aguas residuales de los enjuagues metálicos, para la toma de muestras de DQO y DBO fueron colocadas en frasco de vidrios ambar de 250mL c/u. No obstante para la DQO el

frasco contenía H₂SO₄ para la preservación de la muestra, y para el análisis de los metales pesados de Cr, Cu y Ni se utilizó un recipiente de plástico de 1 litro previamente esterilizado que contenía ácido nítrico. Esta recolección de muestras se realizó con los frascos suministrados por el mismo laboratorio según el protocolo de toma de muestras de IDEAM **Anexo 2**. Las muestras fueron colocadas en nevera refrigerante y llevadas al laboratorio a su vez se aclara que se realizó toma de muestra puntual. Finalmente las muestras fueron llevadas a un laboratorio acreditado por el IDEAM para realizar este tipo de análisis el laboratorio utilizó los métodos expuestos en la **Tabla 18** para cada parámetro.

Tabla 18

Parámetros Analizados en Laboratorio Acreditado

Parámetro	Unidad	Método
pH-en laboratorio a 25°C a °C**	Unidad	SM 4500-H + B, Electrométrico
Temperatura	°C	SM 2550 B, Electrometría
Conductividad eléctrica - a 25,00 °C	µS/cm	SM 2510 B, Electrométrico
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	SM 5210 B, 4500-O C Incubación Modificación de Azida
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	SM 5220 C, Volumétrico, Reflujo Cerrado
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	SM 2540 D, Gravimetría, Secado
Sólidos Sedimentables (SSED)	ml/L	SM 2540 F, Volumétrico, Cono Imhoff
Turbidez a 25,00 °C	NTU	SM 2130 B, Nefelométrico
Cobre (Cu)	mg/L	SM 3030 H, 3111 B, A.A. Llama
Cromo (Cr)	mg/L	SM 3030 H, 3111 B, A.A. Llama
Níquel (Ni)	mg/L	SM 3030 H, 3111 B, A.A. Llama

Fuente: (Laboratorio Quimicontrol, 2019) SM: "STANDARD METHODS For The Examination Of Water And Wastewater" 23RD EDITION, 2017. (A.A.): Absorción Atómica. (**): Variable que no se encuentra acreditada. (<): Menor que límite de cuantificación del método. NTU: Unidad nefelométrica de turbiedad

6.3 Caracterización Bioadsorción de Níquel con Hojas de Mazorca de Maíz (*Zea Mays L*)

A continuación, se presenta la metodología para alcanzar el cumplimiento segundo objetivo de la presente investigación. Este se dividió en tres etapas como se muestra en los siguientes apartados.

6.3.1 Caracterización de Material Vegetal

Se inició con el lavado de la biomasa con agua de grifo una vez y 3 veces con agua destilada.

Figura 7

Lavado de Material con Agua de Grifo y Agua Destilada



Posteriormente en un estante en el vivero que tiene Tecnoparque se colocaron mallas de polisombra y se dejó secar a temperatura ambiente durante 21 días, ver **Figura 8**.

Figura 8

Secado de Material Vegetal



Fuente: (Propia, 2019)

Después que la biomasa estuviera seca se molió con un molino eléctrico marca corona **Figura 9** y posteriormente se pasó por un molino de cuchillas para obtener dos tamaños de partícula de 1mm y 5mm **Figura 10** y después el material vegetal de 5mm se pasó por una malla de tamizado para obtener un tamaño de partícula equivalente a 4mm.

Figura 11. Estos tamaños se tuvieron en cuenta en base las investigaciones realizadas por Sallau *et al.*, (2012) y Ali, Khalid & Majid (2014). Luego los dos tamaños de partícula se colocaron en bolsas de ziploc separadas, para luego realizar un pretratamiento y definir qué tamaño de partícula es más adecuado para la columna de bioadsorción.

Figura 9

Molino Eléctrico



Fuente: (Propia, 2019)

Figura 10

Molino de Cuchillas



Figura 11

Tamizado de Material Vegetal 4mm



Fuente: (Propia, 2019)

a. *Análisis Químico Proximal (AQP)*

Se realizó un análisis proximal del material vegetal teniendo en cuenta: humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo. Cabe resaltar que se utilizó el tamaño de partícula 4mm, para este se realizó con base en lo establecido por la norma ASTM D3172-13, y el trabajo realizado por Narváez & Villota, (2018) ver **Tabla 19**. Para el respectivo desarrollo metodológico ver **Anexo 8**

Tabla 19

Fórmulas Para el Análisis Químico Proximal de las Hojas de (Zea mays L)

Parámetro	Formula
Humedad (H)	$\%H = \text{peso perdido} / \text{peso muestras} * 100$
Ceniza (C)	$\%C = \text{peso ceniza} / \text{peso muestra} * 100$
Volátiles (V)	$\%V = \text{peso inicial} - \text{peso final} / \text{peso inicial} * 100$
Carbono Fijo (CF)	$\%CF = 100\% - H - \%C - \%MV$

Fuente: (Narváez & Villota 2018)

b. Determinación de sitios ácidos- básicos

Se realizó un análisis fisicoquímico con la determinación de sitios activos ácidos y básicos. Para esto se tuvo en cuenta el Método Boehm (1988) el cual es usado como método químico para identificar grupos de superficie de oxígeno sobre materiales de carbono. Se basa en el principio, de que los grupos de oxígeno en las superficies de carbono tienen diferente acidez y pueden ser neutralizados por bases de diferentes resistencias. (Goertzen *et al.*, 2010). Para su realización se tuvieron en cuenta: **Ecuación 2**, **Ecuación 3** y la **Figura 12**.

Ecuación 2

Molaridad (M)

$M = \text{Moles de soluto} / \text{Volumen de Sln}$

Ecuación 3

Fórmula de Dilución

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Donde:

Volumen inicial = V_1 = volumen de la solución más concentrada.

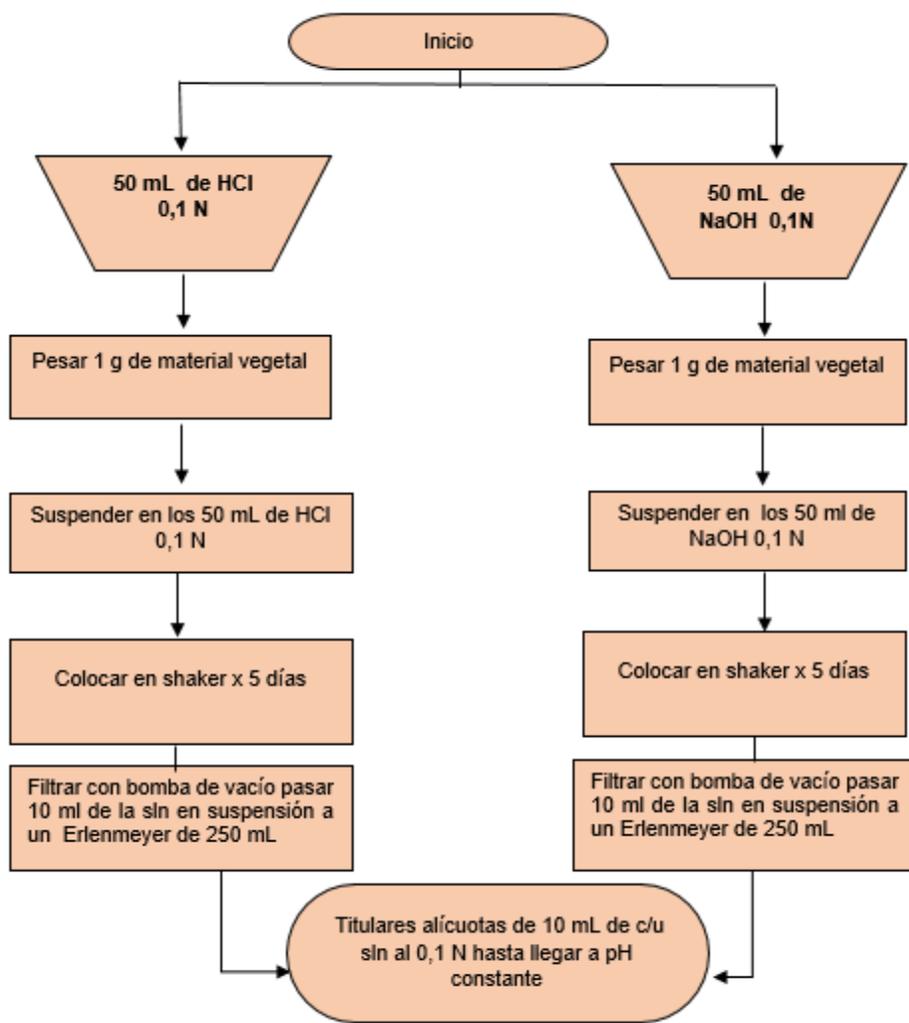
Concentración inicial = C_1 = Concentración de la solución más concentrada.

Volumen Final = V_2 = volumen de la solución más diluida.

Concentración Final=C₂=Concentración de la solución más diluida.

Figura 12

Método Boehm (Determinación Sitios Ácidos y Básicos de las Hojas de Mazorca de Maíz)



Fuente: (Propia, 2019)

6.3.2 Diseño de la columna de bioadsorción para Níquel

Se llevó a cabo en las instalaciones de Tecnoparque (SENA) sede Chapinero. Teniendo en cuenta los siguientes pasos: obtención del bioadsorbente, ensayo discontinuo, construcción del sistema de filtración en columna de bioadsorción con ensayo continuo, experimentación de la columna.

Obtención del bioadsorbente

- Se obtuvo en CERES de la calle 68 de manera gratuita, se trasladó el material al Tecnoparque (SENA) Chapinero se lavó la biomasa con agua de grifo una vez y 3 veces con agua destilada.
- Después se realizó el tamizado de la biomasa como se mencionó anteriormente en la caracterización del material con molino eléctrico y molino de cuchillas y una malla de tamizado.

Biomasa Modificada

Para determinar si el material vegetal tendría una mejor capacidad de adsorción de níquel se realizó un lavado previo del bioadsorbente con una solución de HCl al 20%, siguiendo el protocolo realizado por Torres & Vanegas, (2018). Se pesó 2,5 g de material vegetal, luego se lavó con HCl al 20%, con volumen de 50mL, posteriormente se realizaron 3 lavados con agua destilada, en otro recipiente se pesaron 2,5 g de material vegetal lavado solo con agua destilada, estas dos muestras se colocaron en cada Erlenmeyer de 500mL respectivamente, a estos se les adicionaron 250 mL de agua residual, se dejaron en agitación constante a 1370 rpm por 60 minutos, después se filtró con una bomba al vacío. Ver **Figura 13**.

Figura 13

Ensayo Discontinuo (Biomasa lavada con HCl al 20% y sin reactivo)



Luego se llevaron a un laboratorio acreditado para determinar si la remoción de níquel era más eficiente con el lavado del adsorbente con reactivo HCl al 20% o sin modificación del adsorbente de las hojas de mazorca de maíz se presenta una mayor remoción del níquel en el agua residual galvánica. Posteriormente para determinar la capacidad de adsorción se tuvo en cuenta la **Ecuación 4**.

Ecuación 4

Ecuación Para Hallar Capacidad de Adsorción

$$q = \frac{V(C_o - C_f)}{W}$$

Fuente: (Torres & Vanegas)

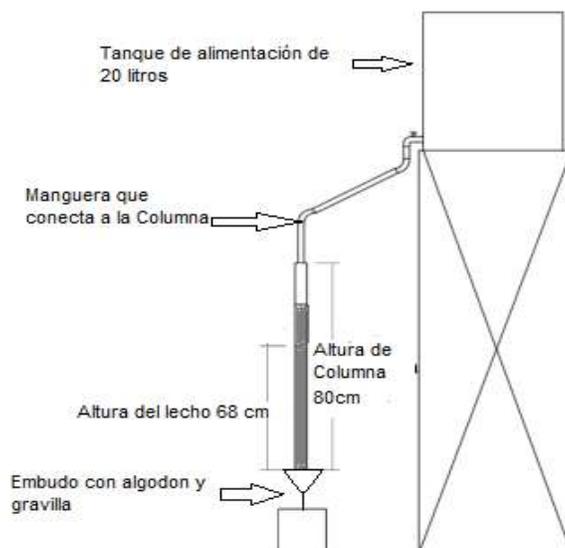
Donde la capacidad de adsorción del bioadsorbente (q) en mg de material adsorbido por gramo de material adsorbente (mg/g), presenta concentraciones iniciales y finales del metal pesado de Níquel (C_o y C_f en ml/L) en un tiempo determinado en la solución; V (L) es el Volumen de la solución y W (g) es la cantidad de adsorbente usado. (Torres y Vanegas, 2018).

6.3.2.1 Construcción del Sistema de Filtración en Columna de Bioadsorción

El diseño se realizó y se ajustó en base al sistema de columna de bioadsorción reportado por Gómez, *et al.*, (2018), Figueira, *et al.*, (2000). Se trató de un tanque de alimentación de 20 litros de capacidad, conectado a través de una manguera de 44cm a una columna de acrílico con lecho de 68 cm de altura y 4 cm de diámetro, empacada hasta un 85% con 133,5g de bioadsorbente **Figura 14**. La parte inferior de la columna se unió a un embudo el cual tenía gravilla y algodón por donde pasó el efluente tratado a un recipiente de recolección de muestra ver **Figura 14**.

Figura 14

Montaje de Columna de Bioadsorción



Fuente: Tomada y Adaptada por autores de Gómez, Gutiérrez, La Rotta (2018)

6.3.3 Experimentación de la Columna de bioadsorción de níquel

En primera medida se efectuó una prueba piloto con el tamaño de poro 1mm haciendo pasar agua destilada ver **Figura 15**, teniendo en cuenta la investigación realizada

por Sallau *et al.*, (2012), pero en vista de que este tamaño de partícula se saturó con agua destilada se optó por trabajar con material tamizado a 5 mm en un molino de cuchillas y posteriormente se pasó por el tamíz N°20 según la norma ASTM para obtener un tamaño de partícula de 4mm teniendo en cuenta la investigación realizada por (Ali, Khalid, & Majid, 2014, pág. 125)

Figura 15

Columna Saturada Adsorbente 1mm



Fuente: Propia, (2019)

El tiempo de prueba fue de 24 horas, donde se hizo circular las aguas residuales tratadas hasta antes de la fase terciaria (sin pasar por las zeolitas y resinas de intercambio catiónico). Ver **Figura 16** pertenecientes a la empresa Galvanotécnica. Posteriormente, las muestras fueron colectadas a la salida de la columna para el análisis cualitativo del níquel en función del tiempo; se utilizaron frascos de vidrio ambar de 250mL (que contenían ácido nítrico) y para los parámetros fisicoquímicos iniciales y finales como (Oxígeno disuelto, Conductividad eléctrica, Sólidos sedimentables, Sólidos Suspendidos Totales, pH, Turbidez, Temperatura, las muestras fueron colocadas en frascos de plásticos de 2 litros previamente esterilizados. En los cuales se colocaron el agua residual tratada con el bioadsorbente vegetal, ver **Anexo 2** del IDEAM donde se indica el protocolo para la toma de muestras, para los parámetros de DQO y DBO se utilizaron

frasco de vidrios ambar de 250mL c/u previamente esterilizados. Finalmente las muestras fueron llevadas a un laboratorio acreditado por el IDEAM para realizar este tipo de análisis el laboratorio utilizó los métodos expuestos anteriormente en la **Tabla 18** para cada parámetro.

Figura 16

Columna de Bioadsorción de Níquel



Fuente: Propia, (2019)

Por otro lado para determinar la capacidad máxima de adsorción de la columna se tuvieron en cuenta las fórmulas **Ecuación 5**, **Ecuación 6**. (Díaz, 2018)

Ecuación 5

Área Bajo la Curva de Ruptura

$$q_{\text{total}} = \frac{Q}{1000} \int_0^{t_{\text{total}}} c_{\text{ad}} dt$$

Donde C_{ad} corresponde a una ecuación en función del tiempo que determina la concentración de metal adsorbido se tiene en cuenta que:

$$C_{\text{ad}} = C_0 - C_f,$$

Al integrar se obtiene que:

$$q_t = \frac{Q \times (C_0 - C_f)}{1000} \times t_{\text{total}}$$

Fuente: (Díaz, 2018)

Se debe tener en cuenta de las anteriores ecuaciones que q_t es la cantidad total de metal adsorbido (mg), Q es el caudal de alimentación de la columna (mL/min), C_f es la concentración de metal a la salida (mg/L) y C_0 es la concentración de metal a la entrada (mg/L), y el t_{total} es el tiempo total de operación (min).

La capacidad máxima de adsorción: Es la cantidad total de metal adsorbido por gramo de adsorbente, m , al final del tiempo total de la operación.

Ecuación 6

Capacidad Máxima de Adsorción de la Columna

$$q_{m=\frac{q_{\text{total}}}{m}}$$

Fuente:(Díaz, 2018)

6.4 VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL

Para dar cumplimiento al tercer objetivo específico de la investigación se realizó el estudio de la viabilidad técnica, económica y ambiental de la bioadsorción de metal pesado níquel con hojas de mazorca de maíz, frente a la alternativa desarrollada en la empresa galvánica a fin de comparar los resultados obtenidos en el tratamiento con el maíz.

6.4.1 Viabilidad Técnica

6.4.1.1 Alternativa Propuesta de Columna de Bioadsorción de Níquel para la Empresa Galvanotécnica.

Se tuvieron en cuenta los siguientes Items:

- Un tiempo de operación de 8 horas siendo jornada laboral y un volumen de 380L se calculó el caudal que alimentaría la columna teniendo en cuenta que:

$$380L / \text{jornada laboral} = 380 \frac{\text{L}}{\text{jornada laboral}} = 380 \frac{\text{L}}{8 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 0,7916 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$\text{➤ } Q_{\text{max}} \rightarrow 0,7916 \frac{\text{L}}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ mL}}{1000 \text{ L}} = 13,1944 \frac{\text{mL}}{\text{s}}$$

- Se asumió que en un litro de agua residual se encuentra 1,29mg/L en los 380L de agua residual que genera la empresa se deberán tratar un total de 490,2 mg/L de níquel.

$$\frac{1,29 \text{ mg}}{\text{L}} * 380 \text{ L} = \frac{490,2 \text{ mg}}{\text{L}} \text{ Ni reales a tratar}$$

- El consumo de energía se obtuvo de la factura brindada por la empresa galvanotécnica siendo un promedio de 332 kWh/mes. Aunque se tuvo en cuenta que en todo el proceso los equipos que se necesitan no se van a utilizar todos los días sino cada 2 meses siendo el equipo de destilador de agua más usado durante ese periodo.

- El consumo de agua se obtuvo de la factura de Acueducto y Alcantarillado de brindada por la empresa galvanotécnica siendo 27 m³ se realizó un aproximado promedio de consumo para los meses que se realiza el tratamiento completo.

- El bioadsorbente debe ser regenerado cada determinado tiempo.
- La viabilidad técnica y económica del tratamiento terciario de aguas

residuales propuesto para la empresa galvanotécnica se planteó a un horizonte o periodo de diseño y/o vida útil de 5 años.

6.4.1.2 Diseño de Columna de Bioadsorción Propuesto.

Se propuso como alternativa el diseño de un tratamiento terciario de las aguas residuales de la empresa Galvanotécnica en base a un sistema de Columna de bioadsorción de flujo continuo. Que según Mendoza & Molina, (2015) es el sistema más empleado en estudio de biosorción debido a su mecanismo de acción y comportamiento eficiente frente a la captación de metales pesados cuando se efectúa el paso del fluido. En si consiste en un sistema de lecho fijo, que posterior a los procesos de sedimentación, filtración, que realiza la empresa a sus aguas se transferían a esta columna con ayuda del tanque de transferencia de 2000L (con el que ya cuenta la empresa) para la remoción de iones metálicos de níquel y demás iones. Este diseño se propuso y se ajustó en base a las investigaciones realizadas por (Ardila, 2013) y Gómez, Gutiérrez, La Rotta, & Rodríguez, (2018) para utilizar la biomasa de (*Zea mays L*)

Se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

- a. Equipos Necesarios para la Preparación del bioadsorbente de (*Zea mays L*)

Este ítem se explicó en anteriores apartados de la metodología, aunque cabe resaltar que se planteó comprar un destilador de agua y un Gabinete desecador donde se colocará el

material a secar cuyo mecanismo de acción son con sílica de gel, que se puedan ubicar en el tercer piso, los equipos se utilizarían 3 veces al año.

Para el triturado y tamizado del adsorbente se planteó la compra de un molino de martillo del cual se obtenga un tamaño de partícula de 4mm. La cantidad de hojas de mazorca de maíz requerido para la columna de lecho continuo se calculó teniendo en cuenta que se necesitan tratar 490,2 mg de níquel.

$$\frac{490,2 \text{ mg de Ni} * 1\text{g}}{0,1422\text{mg de capacidad de adsorción de columna de Ni}}$$

$$= 3447,2 \text{ g de Maíz necesarios}$$

Para calcular el volumen que debe tener la columna se tuvo en cuenta que el material vegetal presenta una densidad aparente de 0,2g/mL según la prueba realizada en el laboratorio de Tecnoparque. Obteniendo esta información y teniendo en cuenta que:

D=densidad
M=masa
V=volumen

$$D = \frac{m}{V}$$

Despejando se tiene que:

$$V = \frac{m}{D}$$

$$V = \frac{3447,2 \text{ g}}{0,2 \text{ g/mL}} = 17236,2\text{mL} / \frac{\text{mL}}{1000\text{L}}$$

$$= 17,236 \text{ L Volumen de la Columna de bioadsorción en la empresa}$$

Estos cálculos se realizaron teniendo en cuenta la capacidad de adsorción de la columna, para así optimizar su desempeño en los ciclos que se utilicen.

b. Propuesta de Regenerante del Adsorbente

Según la literatura se hace necesario utilizar un mecanismo regenerante en la presente investigación se propuso el ácido nítrico, este reactivo permite remover los iones en solución y a su vez reactiva el bioadsorbente. Para hallar la cantidad de ácido nítrico necesaria base se entiende que la concentración en 1L de Solución de (HNO₃) es 0,6M y su peso molecular es de (63,01g/mol) y para tratar las aguas residuales de la empresa Galvanotécnica se tiene que:

$$380L \frac{0,6M}{1L} = 228 M (HNO_3) = \frac{g}{L}$$

$$228M * \frac{63,01g}{mol} = 14366,28g * \frac{1kg}{1000 g} = 14,366 kg$$

Por otro lado para comparar la viabilidad técnica del método de bioadsorción propuesto frente a la alternativa que usa la empresa fue necesario conocer el tratamiento terciario que realiza la empresa galvánica como se expone en el siguiente apartado y se realizó una comparación técnica en relación a la capacidad de remoción de níquel.

6.4.1.3 Tratamiento Avanzado de Aguas Residuales a Nivel Terciario de la Empresa Galvanotécnica.

Como tratamiento terciario la empresa utiliza las zeolitas que son aluminosilicatos porosos, esta presenta como característica dos tipos de forma granular. Ver **Tabla 20** los cuales pueden llegar a ser inestables disminuyendo la capacidad de interacción, aumento en la concentración de aglutinantes a elevadas temperaturas. En la

Tabla 21 Se observan las dimensiones del tratamiento con zeolitas.

Tabla 20

Ficha Técnica Zeolitas Empresa Galvanotécnica tratamiento terciario

Ficha Técnica de Zeolitas	
Nombre Comercial	FILTROCELL II, FILTROCELL III
Formula Química:	$(\text{Na, K, Ca})_{10} (\text{Al}_{10}\text{Si}_{26}\text{O}_{72}) \cdot 24\text{H}_2\text{O} + (\text{Na, K, Ca})_{5,4} (\text{Al}_{5,4}\text{Si}_{30,6}\text{O}_{72}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ Relación Al: Si (2,6/5.7) y (2,5/5.4)
Clase de Producto:	Filtrocell (II) y (III) modificado físico- química y térmicamente
Tipo Formulación:	Granulado (1 a 3 mm) y (3mm a 8mm)

Fuente:(Empresa Galvanotécnica, 2019)

En vista de su baja eficiencia en la remoción de elementos contaminantes como los iones metálicos de níquel, la empresa utiliza las resinas catiónicas como continuación del tratamiento terciario.

Tabla 21

Tratamiento con Zeolitas y Resinas de Intercambio Catiónico

Componentes	Dimensión de Columna	Cantidad	Reactivos y cantidad
Zeolitas	71altura*16,5ancho	8kilos	No se aplican reactivos
Resinas de intercambio catiónico	70altura*15ancho	7 litros de resina 20 litros de agua	-NaOH 40 gr/l H ₂ O -HNO ₃ 250 gr/LH ₂ O

Fuente: Empresa Galvanotécnica, (2019)

Teniendo en cuenta que la empresa utiliza con dos mecanismos de acción con las resinas: las acondiciona con NaOH equivalente al 40gr/l de agua y lo regenera usando ácido nítrico se usan 250g5/l de agua, en el ácido nítrico las resinas se dejan por dos horas, el cual remueve los cationes adsorbidos en la columna y posteriormente lavan las resinas con agua, este proceso lo realiza varias veces. Como se pudo observar durante las visitas realizadas y lo que indica la empresa es altamente costoso el proceso, y también su reactivación requiere de un tiempo prolongado. Ver **Tabla 22**

Tabla 22

Características de resinas de Intercambio Catiónico Empresa Galvanotécnica

Ficha Técnica			
Forma de suministro		Na+	
Grupo funcional		Ácido iminodeacético	
Matriz		Poli estireno reticulado	
Estructura		Macroporosa	
Capacidad total	En forma H	Min.eq/l	2,2
Estabilidad	Rango de pH		0-14
Almacenaje del producto		Max. Años	2

Almacenaje rango de temperatura	°C	-20-+ 40
------------------------------------	----	----------

Fuente: Empresa Galvanotécnica, (2019)

Teniendo esta información se generó un estudio técnico en el cual se plantea como propuesta el diseño de una columna de bioadsorción de lecho continuo descendente como reemplazo del tratamiento terciario utilizado por la empresa Galvanotécnica y se indica localización, tamaño, insumos, equipos y demás materiales necesarios para la implementación del tratamiento de bioadsorción con hojas de mazorca de maíz recursos necesarios a su vez se dan a conocer los materiales y medidas de la alternativa de tratamiento terciario que utiliza la empresa galvanotécnica. Para la realización de este ítem se tuvieron en cuenta las investigaciones de Ardila, (2013) y Restrepo, (2011).

6.4.2 Viabilidad Económica

Se obtuvieron precios del mercado de cada uno de los materiales necesarios en la construcción y desarrollo de la columna de lecho fijo de bioadsorción de metal pesado níquel a escala industrial y se comparan con los costos actuales de las resinas de intercambio catiónico y zeolitas y se realiza el análisis teniendo como guía los parámetros de costos establecidos en las investigaciones de Espinosa & Mera (2015), Ardila (2013). A su vez se realiza el flujo de caja del proyecto que según Chain, (2011) se calcula para determinar la rentabilidad de la inversión, con lo que se busca proyectar los costos y los beneficios de la bioadsorción a su vez se calcula el VAN (Valor actual neto) y la TIR (Tasa Interna de Retorno) para determinar la viabilidad económica del proyecto.

6.4.3 Viabilidad Ambiental

En esta se incluye la viabilidad técnica y económica se realizó una matriz para comparar las tres viabilidades de las dos alternativas: la que se propone en la presente investigación usando hojas de mazorca de maíz como mecanismo de bioadsorción de níquel frente a la alternativa que utiliza la empresa con zeolitas y resinas de intercambio catiónico. Se tuvieron en cuenta los siguientes pasos:

- Se realizó una identificación de todos los impactos técnicos, económicos y ambientales.
- Se realizó una calificación cualitativa y cuantitativa teniendo en cuenta las metodologías expuestas por Ardila & Zárate (2009) y Espinosa & Mera (2015) la cual se ajustó a los requerimientos de la presente investigación.
- Se realizó una ponderación y puntuación específica mediante criterios de calificación establecidos como se indica en el siguiente apartado.

Criterios de evaluación

Teniendo en cuenta las investigaciones de Ardila & Zárate (2009) y Espinosa & Mera (2015) se tuvieron en cuenta las categorías de los aspectos técnicos, ambientales ponderadas con el 30% y 40% respectivamente estas se ajustaron a las necesidades de la presente investigación a su vez la categoría de los aspectos económicos ponderada con 30% la cual se diseñó acorde a lo consultado en el mercado para determinar el rango de ponderación.

Cabe resaltar que cada categoría se subdividió en subcategorías ponderadas en componentes y estos componentes se dividieron en ítems siendo los elementos de la metodología en la presente investigación los ítems de la matriz se calificaron en base a la escala expuesta en la **Tabla 23** y la descripción de cada escenario y de cada ítem se encuentra en el **Anexo 9**.

Tabla 23

Puntajes Para la Calificación de los Ítems de la Matriz de Evaluación de Alternativas

Escala	Valoración
1	Escenario menos favorable
2	Escenario medianamente favorable
3	Escenario más favorable

Fuente: Ardila & Zárate, (2009)

7 RESULTADOS

7.1 Caracterización Inicial del Agua Residual

En la **Tabla 24** se observan los resultados de parámetros fisicoquímicos evaluados en el agua residual: pH, T, Conductividad eléctrica (CE), Oxígeno disuelto (OD), DBO₅, DQO, turbidez, SST SSED, Cobre, Cromo y Níquel de la toma de muestra del agua residual con tratamiento primario y secundario realizado en la empresa Galvánica, donde se evidencia que hay varios parámetros superan la norma y en relación a los metales pesados el Níquel es que presenta mayor concentración, lo cual motivó a que se usará para el cumplimiento del segundo objetivo.

Tabla 24

Caracterización Inicial del Agua Residual de la Empresa Galvanotécnica

Evaluación	Unidad	Agua residual sin tratamiento terciario	Resol. 0631 de 2015 límite permisible y /o parámetros del IDEAM
pH	-	9,88	6-9
T	°C	18,3	40
CE	μS/cm	37	0,0 a 1999
DBO ₅	mg O ₂ /L	429	100,00
DQO	mg O ₂ /L	896	250,00
SST	mg/L	930	50,00
SSED	mL/L	<0,1	2,00
Turbidez a 25,00 °C	NTU	2,49	0 a 10.000
Cobre	ppm	0,14	1,00
Cromo	ppm	0,48	0,50
Níquel	ppm	1,29	0,50

CE: Conductividad Eléctrica, DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno, DQO: Demanda Química de Oxígeno, SST: Sólidos Suspendidos Totales, SSED: Sólidos Sedimentables Totales

Fuente: (Propia, 2019)

Continuando con el índice de biodegradabilidad como se observa en la **Ecuación 7** se obtuvo un resultado de 0,48 ppm O₂ en relación al agua residual evaluada tan solo con tratamiento primario y secundario.

Ecuación 7

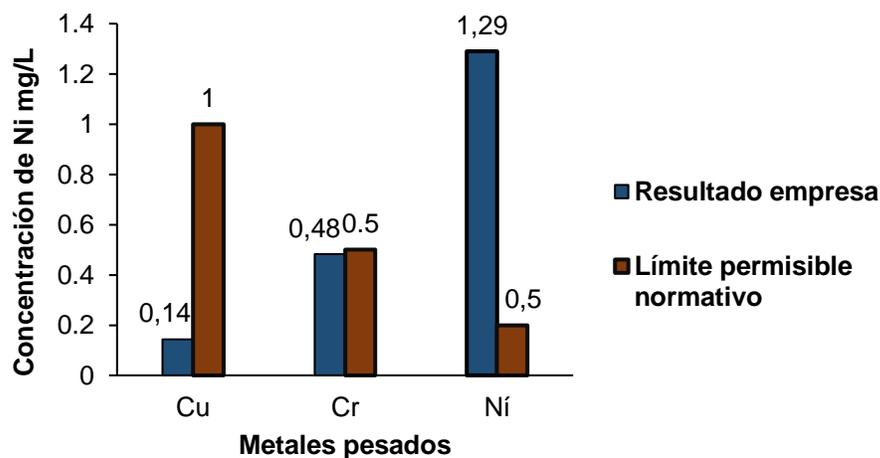
Índice de Biodegradabilidad de (DBO₅/ DQO)

$$\frac{DBO_5}{DQO} = \frac{429 \text{ ppm O}_2}{896 \text{ ppm O}_2} = 0,48 \text{ ppm O}_2$$

En la **Figura 17** se observa que el metal que supera el límite permisible normativo es el níquel, confirmando lo que se observó en las visitas realizadas a la empresa que es metal que presenta mayor dificultad en su tratamiento.

Figura 17

Concentración de Metales Pesados Agua Residual



Fuente:(Propia, 2020)

7.2 RESULTADOS OBTENIDOS DE BIOADSORCIÓN DE NÍQUEL CON HOJAS DE MAZORCA DE MAÍZ (*ZEA MAYS L*)

En los siguientes apartados se tienen los resultados para dar cumplimiento al segundo objetivo de esta investigación.

En la **Tabla 25** se observan los resultados del bioadsorbente modificado y sin modificar con reactivo HCl, evidenciándose que no se presenta un mejor desempeño con el uso del reactivo en la interacción del adsorbente con el adsorbato.

Tabla 25

Resultado Ensayo Discontinuo con y sin HCl al 20%

[] Ni con material lavado con HCl	[] Ni con material vegetal lavado sin HCl
0,096 mg/L	0,109mg/L

Fuente: Propia, (2019)

7.2.1 *Resultados del Análisis Químico Proximal de Hojas de Mazorca de Maíz (Zea mays L)*

Con relación al análisis químico proximal de las hojas de mazorca de maíz en base a: humedad, cenizas y volátiles se presentan en la **Tabla 26**

Tabla 26

Análisis Proximal Para las Hojas de Mazorca de Maíz

Humedad %	Cenizas %	Volátiles %	Carbono fijo
8,21	2,82%	88,5%	0,47 %

Fuente: (Propia, 2019)

Posteriormente se presentan los resultados en relación a la presencia de sitios ácidos o básicos **Tabla 27** y como se evidencia predominan los sitios ácidos los cuales tienen como mecanismos liberar protones en medios básicos siendo este el pH de la muestra de agua residual tomada.

Tabla 27

Sitios Ácidos y Básicos, de las Muestras Tamizadas Provenientes de hojas de maíz

Determinación de sitios ácidos	Determinación de sitios Básicos (mEq)
0,12 mol/L	0,08mol/L

Fuente: (Propia, 2019)

7.2.2 Resultados de los Parámetros Fisicoquímicos Iniciales y Finales del Proceso de Bioadsorción

La **Tabla 28** muestra los resultados obtenidos de los parámetros fisicoquímicos iniciales y finales en el proceso de bioadsorción donde se evidencia que algunos parámetros fueron reducidos en proceso de bioadsorción.

Tabla 28

Parámetros Fisicoquímicos Iniciales y Finales el Proceso de Bioadsorción de níquel con hojas de Mazorca de Maíz (Zea mays L).

Proceso de bioadsorción con (<i>Zea mays L</i>)				Límite permisible y /o parámetros del IDEAM
Parámetro	Unidad	Inicial	Final	
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	1,5	7,50	0,0a 19,99
Conductividad	μS/cm	64400	71200	0,0a 1999
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	177	87	50,00
Sólidos Sedimentables	mL/L	<0,1	<0,1	2,00

Turbiedad	NTU	92	23	0 a10.000
-----------	-----	----	----	-----------

Fuente: (Propia, 2019)

En la **Tabla 28** se evidencia una disminución en la concentración, en algunos de los parámetros indicando que el adsorbente pudo influir a disminuir la concentración. Sin embargo otros parámetros aumentaron en la evaluación final esto puede ser atribuido a los componentes que presenta la muestra residual que pudieron influir en esta variación.

7.2.3 Resultados de la Columna de Bioadsorción de Níquel

Continuando con los resultados de la bioadsorción de níquel con adsorbente de maíz la **Tabla 29** muestra la concentración y porcentaje de remoción de Níquel en el lapso de tiempo y como se observa la mayor remoción se presentó a las 18 horas obteniendo un porcentaje de remoción de Níquel de 78,68% en la muestra de agua residual e indicando que se hace necesario un mayor tiempo de contacto para una completa saturación, sin embargo estas variaciones en la concentración de níquel puede ser atribuir a los rangos de pH y temperatura que se presentaron en la muestra los cuales pudieron contribuir a la activación de otras sustancias que compitieron por los sitios activos en la superficie del bioadsorbente. Cabe resaltar que la concentración inicial de níquel fue de 1,29 mg/L

Tabla 29

Bioadsorción de Níquel con Hojas de Mazorca de Maíz

pH	Temperatura °C	Tiempo (Hr)	Concentración de Ni (mg/L)	% de Remoción de Ni	Capacidad de adsorción en columna (mg. g ⁻¹)
9,98	18	3.0	0,398	69,15	0,0166
11,88	21	6.0	0,355	72,48	0,0174

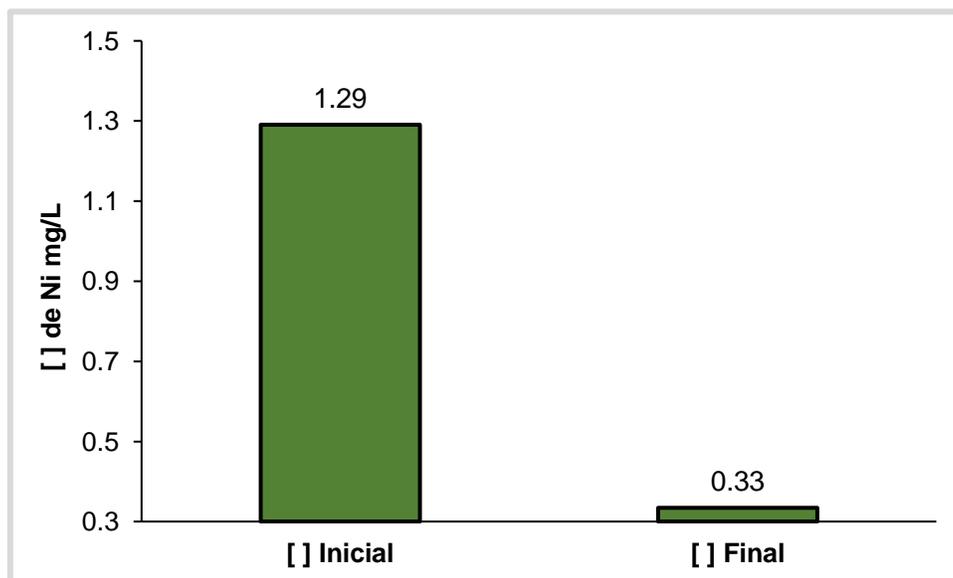
12,5	20	9.0	0,468	63,72	0,0153
12,50	19	12	0,458	64,50	0,0155
12,56	18	15	0,437	66,12	0,0159
12,69	18	18	0,275	78,68	0,0189
12,60	20	21	0,359	72,17	0,0173
12,58	19	24	0,334	74,11	0,0178

Fuente: (Propia, 2019)

Por otra parte lado las variaciones entre la concentración inicial (la cual fue tomada antes de iniciar el proceso de bioadsorción) comparada con la concentración final evidencian una reducción en la concentración de níquel presente en el agua residual galvánica, aunque si se hace necesario un mayor tiempo de contacto para su completa colmatación, se ve la efectividad en la **Figura 18**.

Figura 18

Concentración Inicial y Final de la Bioadsorción de Níquel con Adsorbente de Maíz



Capacidad máxima de adsorción de la Columna

Continuando con la capacidad máxima de adsorción de la columna se calculó a partir del área bajo la curva **Ecuación 5** anteriormente explicada en el apartado metodología.

$$q_{\text{total}} = \frac{Q}{1000} \int_0^{t_{\text{total}}} c_{\text{ad}} dt$$

Donde C_{ad} corresponde a una ecuación en función del tiempo que determina la concentración de metal adsorbido se tiene en cuenta que:

Donde C_{ad} es la diferencia entre la concentración final y la concentración inicial ($C_f - C_o$)

$$C_{\text{ad}} = C_o - C_f,$$

Reemplazando $C_{\text{ad}} = 1,29 \text{ mg/L} - 0,334 \text{ mg/L} = 0,956 \text{ mg/L Ni}$

Al integrar se obtiene:

$$q_t = \frac{Q \times (C_o - C_f)}{1000} \times t_{\text{total}}$$

$$q_{\text{total}} = \frac{Q}{1000} * \frac{0,956 \text{ mg de Ni} * d}{L}$$

$$q_{\text{total}} = \frac{13,8 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}} * \frac{0,956 \text{ mg de Ni}}{L} * \frac{1440 \text{ min}}{d} = 18,99 \text{ mg Ni}$$

Donde 0,956 es la diferencia entre la concentración final y la concentración inicial ($C_f - C_o$)

A su vez se tuvo en cuenta el peso seco total de adsorbente en la columna para determinar la capacidad máxima de adsorción de la columna (**Ecuación 6**)

$$q_m = \frac{q_{\text{total}}}{m}$$

$$q_m = \frac{18,99 \text{ mg Ni}}{133,5 \text{ g adsorbente}} = \frac{0,1422 \text{ mg Ni}}{\text{g adsorbente}}$$

Como se puede observar la capacidad máxima de adsorción de la columna que presentó las hojas de mazorca de maíz, fue eficiente teniendo en cuenta que en el proceso se encontraban otros componentes como el cobre y cromo pudieron entrar en competencia por los sitios activos, haciendo que la interacción con el adsorbato de níquel y el adsorbente sea compleja, a su vez las variaciones de pH y temperatura que si bien pudieron influir indican también que aunque a un pH y temperatura óptima puede remover iones de níquel, en los diferentes rangos de pH y temperatura presentados aunque presentó variaciones, se observó una remoción de este elemento contaminante como el níquel. Este resultado concuerda con lo que afirma González et al., (2017) en relación a que este tipo de adsorbentes pueden tener una eficiencia en un rango amplio de pH y temperatura.

7.3 RESULTADOS DE VIABILIDAD TÉCNICA, ECONOMICA Y AMBIENTAL DE LA BIOADSORCIÓN DE NÍQUEL CON HOJAS DE MAZORCA DE MAÍZ

7.3.1 *Resultados de la Viabilidad Técnica (Alternativa Propuesta de Bioadsorción)*

En el siguiente apartado se explica la alternativa técnica de bioadsorción que se propone para la empresa Galvánica como tratamiento terciario del agua residual con níquel

Se debe tener en cuenta que:

- La adquisición del molino de muelas, se hace necesario aclarar que este se usaría para la obtención del tamaño de partícula de 4mm y que tendría una garantía de tres años.

- El gabinete desecador el cual serviría para secar el material vegetal en ambiente natural, tendría una garantía de un año
- El destilador de agua el cual se usaría para los lavados del bioadsorbente. que tendría la garantía de un año.

Lo anterior se planteó teniendo en cuenta que si quiere realizar el tratamiento terciario a escala industrial, y dichos equipos optimizarían el mecanismo.

Cabe resaltar que estos equipos no se utilizarían frecuentemente estos equipos lo cual aumentaría su tiempo de vida útil teniendo en cuenta que la empresa realiza el tratamiento de sus aguas cada dos meses.

Por otro lado se planteó el siguiente diseño en una columna de cilíndrica:

Tabla 30

Características de la Columna de Bioadsorción de Níquel Propuesta para la Empresa

Galvanotécnica

Altura	70cm x15cm
Diámetro	7,5cm
Material	Acrílico
Cantidad de Adsorbente	3447,2 g

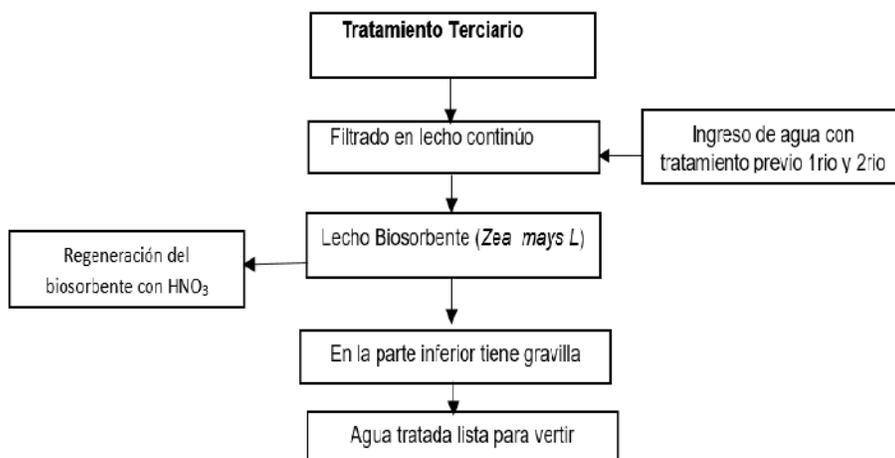
Fuente: (Propia, 2019)

Se planteó el diseño de la columna teniendo en cuenta el diseño que tiene la empresa Galvanotécnica para las resinas pero a esta se acondicionará la entrada en la parte superior para que pase el afluente de la empresa por gravedad del tanque clarificador. A su vez se dejará un espacio de 30cm y en la parte inferior la columna

tendrá gravilla y la salida del efluente con el acondicionamiento de una llave. Ver **Figura 19**, y **Figura 20**.

Figura 19

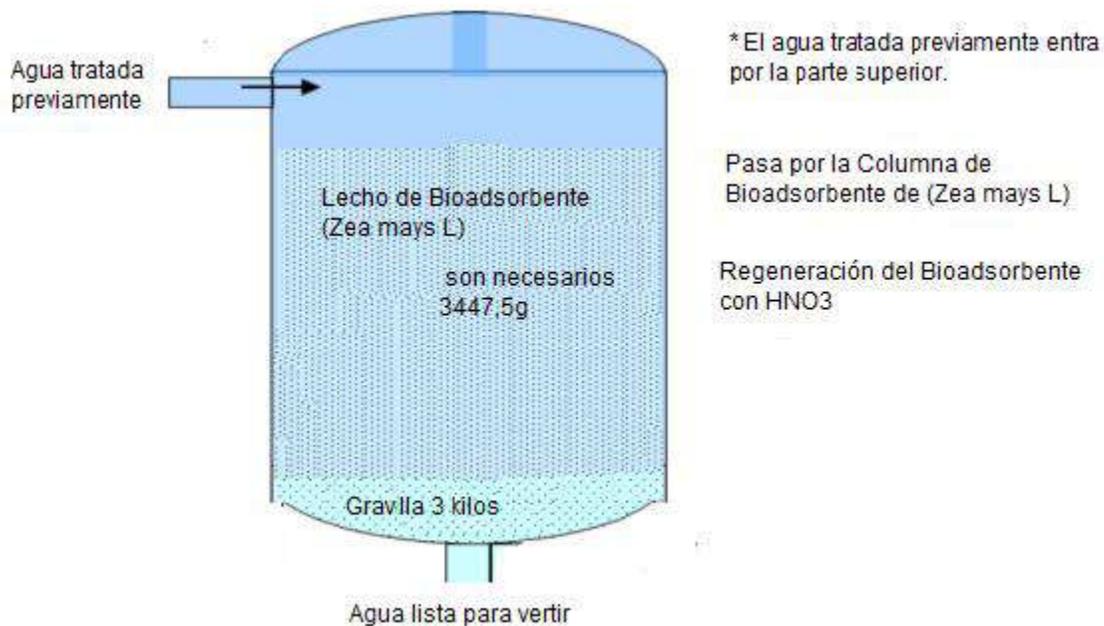
Componentes Principales del Tratamiento Terciario Propuesto



Fuente: (Propia, 2019)

Figura 20

Columna de Bioadsorción de Níquel Propuesta con (Zea mays L)"lecho continuo"



Fuente: Tomada y Ajustada de (Ardila, 2013)

7.3.2 Resultados de la Viabilidad Económica (Alternativa Propuesta de Bioadsorción) Vs Zeolitas & Resinas.

Para esta propuesta los recursos que se tuvieron en cuenta: a) El presupuesto de inversión inicial **Tabla 31** y **Tabla 33**, b) Los costos de producción **Tabla 32** y **Tabla 34** y c) La proyección de flujo de caja 5 años **Tabla 35**, **Tabla 36**, **Tabla 38**, se tuvo en cuenta las proyecciones macroeconómicas del Índice de Precios al Consumidor de (Investigaciones Económicas – Grupo Bancolombia, 2019)

7.3.2.1 Presupuesto de Inversión Inicial de Bioadsorción de Níquel con (Zea mays L)

Se obtuvo los siguientes resultados con las respectivas cotizaciones realizadas y la evaluación técnica efectuada.

Tabla 31*Presupuesto de Inversión Inicial de Bioadsorción con (Zea mays L)*

	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1. Materias primas e insumos				
Bioadsorbente hojas de mazorca de maíz	Bultos	15	0	0
Columna en acrílico	Cm	1	\$ 150.000	\$ 150.000
Llave de grifo		1	\$ 12.000	\$ 12.000
Ácido Nítrico	Kg	25	\$ 45.000	\$ 45.000
Gravilla	Kg	12	\$ 2.000	\$ 24.000
Subtotal				\$ 231.000
2. Servicios públicos				
Agua	m3	32		\$ 372.546
Energía	Kwh	338		\$ 387.970
Subtotal				\$ 760.516
3. Maquinaria y equipos				
Molino de martillos industrial de 36 con motor de 2Hp Marca WEB brasilero con 3 mayas*		1	\$ 3.500.000	\$3.500.000
Gabinete desecador Incluye tres (3) Bandejas acrílicas		1	\$ 1.609.600	\$1.609.600
Destilador de agua		1	\$ 4.649.000	\$4.649.000
Subtotal				\$9.758.600
4. Transporte material vegetal				
Subtotal		1	\$ 20.000	\$ 20.000
Total				\$10.770.116

Nota:*Las mayas tienen valor de \$60.000 y se deben cambiar cada 3 años

Fuente:(Propia, 2019)

Tabla 32*Costos Bioadsorción de Níquel con Hojas de Mazorca de Maíz*

Detalle	Costo	Servicios	
		Costos fijos	Costos variables
Costos de producción			
Transporte	\$ 20.000	\$ 20.000	
Materiales directos	\$ 231.000		\$ 231.000
Servicios públicos	\$ 760.516		\$ 760.516
Total	\$ 5.640.516	\$ 20.000	\$ 882.030

Fuente: (Propia, 2019)

7.3.2.2 Presupuesto Inicial de Alternativa de Zeolitas y Resinas Utilizada por la Empresa Galvanotécnica

Los costos actuales de las materias primas e insumos y maquinaria que utiliza la empresa para tratamiento terciario con zeolitas y resinas de intercambio catiónico se muestran en las **Tabla 33,Tabla 34**

Tabla 33

Presupuesto de Inversión de Resinas de Intercambio Catiónico y Zeolitas

	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1. Materias primas e insumos				
Resinas de intercambio catiónico Lewatit TP 207	Litros	500	\$ 42.326,00	\$ 21.163.000
Zeolitas	Kg	25	\$175.000,00	\$175.000
Ácido Nítrico	Kg	25	\$ 45000	\$ 45000
Hidróxido de sodio	Kg	16	\$47.000,00	\$ 752.000
Tubos de PVC		2	\$ 70.0000	140.0000
	Subtotal			22.275.000
2. Servicios públicos				
Agua	m3	27		\$317.970
Energía	Kwh	332		\$262.060
	Subtotal			\$580.030
3 TRANSPORTE				
			\$20.000	\$20.000
	Subtotal			\$20.000
Total				\$22.875.030

Fuente: (Propia, 2019)

Tabla 34

Costos Zeolitas y Resinas de Intercambio Catiónico

Detalle	Costo	Servicios	
		Costos fijos	Costos variables
Costos de producción			
Materiales directos	\$22.275.000		\$ 22.275.000
Servicios públicos	\$ 580.030	\$ 580.030	
Total	\$22.855.030	\$ 580.030	\$ 22.275.000

Fuente: (Propia, 2019)

Para determinar los flujos de caja de cada alternativa se utilizaron los siguientes

supuestos:

- El tratamiento de agua residual la empresa Galvanotécnica se realiza cada dos meses.
- Se tiene el siguiente costo mensual de la alternativa de bioadsorción **Tabla 35**.

Tabla 35

Costo Mensual de Bioadsorción

	EGRESOS	INGRESOS	FLUJO NETO	FLUJO ACUMULADO
Inversión inicial	\$ 10.770.116			
mes 1		\$ 11.200.000	\$ 429.884	\$ 429.884
mes 2	\$ 580.030	\$ 11.360.000	\$ 10.779.970	\$ 11.209.854
mes 3	\$ 580.030	\$ 11.600.000	\$ 11.019.970	\$ 21.799.940
mes 4	\$ 820.516	\$ 11.920.000	\$ 11.099.484	\$ 22.119.454
mes 5	\$ 580.030	\$ 12.160.000	\$ 11.579.970	\$ 22.679.454
mes 6	\$ 7.080.030	\$ 12.480.000	\$ 5.399.970	\$ 16.979.940
mes 7	\$ 820.516	\$ 12.800.000	\$ 11.979.484	\$ 17.379.454
mes 8	\$ 580.030	\$ 13.040.000	\$ 12.459.970	\$ 24.439.454
mes 9	\$ 580.030	\$ 13.360.000	\$ 12.779.970	\$ 25.239.940
mes 10	\$ 635.030	\$ 13.520.000	\$ 12.884.970	\$ 25.664.940
mes 11	\$ 760.516	\$ 13.760.000	\$ 12.999.484	\$ 25.884.454
mes 12	\$ 580.030	\$ 14.000.000	\$ 13.419.970	\$ 26.419.454

Fuente: (Propia ,2019)

- Se tiene el siguiente costo mensual de alternativa de zeolitas y resinas utilizada por la empresa Galvanotécnica **Tabla 36**

Tabla 36

Costo Mensual de Alternativa Utilizada por la Empresa Galvanotécnica Zeolitas-Resinas

	EGRESOS	INGRESOS	FLUJO NETO	FLUJO ACUMULADO
Inversión inicial	\$22.875.030			
mes 1		\$ 11.200.000	-\$ 11.675.030	-\$ 11.675.030
mes 2	\$ 839.072	\$ 11.360.000	\$ 10.520.928	-\$ 23.350.060
mes 3	\$ 580.030	\$ 11.600.000	\$ 11.019.970	-\$ 12.829.132
mes 4	\$ 1.062.066	\$ 11.920.000	\$ 10.857.934	-\$ 1.809.162
mes 5	\$ 580.030	\$ 12.160.000	\$ 11.579.970	\$ 9.048.772
mes 6	\$ 7.080.030	\$ 12.480.000	\$ 5.399.970	\$ 20.628.742
mes 7	\$ 1.062.546	\$ 12.800.000	\$ 11.737.454	\$ 26.028.712
mes 8	\$ 580.030	\$ 13.040.000	\$ 12.459.970	\$ 37.766.166
mes 9	\$ 580.030	\$ 13.360.000	\$ 12.779.970	\$ 50.226.136
mes 10	\$ 1.054.546	\$ 13.520.000	\$ 12.465.454	\$ 63.006.106
mes 11	\$ 760.516	\$ 13.760.000	\$ 12.999.484	\$ 75.471.560
mes 12	\$ 580.030	\$ 14.000.000	\$ 13.419.970	\$ 88.471.044

Fuente: (Propia ,2019)

- Se tiene en cuenta el Índice de Precios al Consumidor (IPC) proyectado. Ver **Tabla 37** para los costos de suministro de: energía eléctrica, agua, el servicio de mantenimiento de los equipos utilizados en el tratamiento terciario.

Tabla 37

Índice de Precios al Consumidor Para los Próximos 5 años

Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
3,40%	3,20%	3,10%	3,00%	3,00%

Fuente: (Investigaciones Económicas – Grupo Bancolombia, 2019)

- La tasa para la evaluación de proyectos utilizada en la presente propuesta corresponde a la tasa de rentabilidad mínima del mercado que es la DTF + 0,5puntos, es decir 5.9%. (Investigaciones Económicas – Grupo Bancolombia, 2019)

Flujos de caja

En la **Tabla 38** se observa los flujos de caja de las dos alternativas donde se evidencia que al primer año la mayor inversión la tiene la alternativa 2 y en la **Tabla 39** presenta los indicadores económicos evaluados para las dos alternativas.

Tabla 38

Flujos de Caja Para las Alternativas de Bioadsorción Vs Zeolitas-Resinas

Flujo de caja alternativa 1 bioadsorción					
Inversión inicial : \$ 10'770.116					
Periodo	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Alternativa 1	\$ 26.466.904	\$16.845.214	\$ 18.863.300	\$ 17.229.937	\$ 17.007.701
Costos y Gastos	-	-	-	-	-
Inversión de maquinaria, insumos y materiales	\$ 10.169.600	\$ 258.039	\$ 2.067.822	\$ 342.163	\$ 289.090
Transporte	\$ 60.000	\$ 70.036	\$ 70.367	\$ 70.719	\$ 71.080
Otros varios	\$ 8.000.000	\$8.256.000	\$ 8.511.936	\$ 8.767.294	\$9.030.312,90
Consumo de energía	\$ 3.586.664	\$ 3.580.600	\$ 3.482.500	\$ 3.578.620	\$ 3.490.600
Consumo de agua	\$ 4.650.640	\$ 4.680.530	\$ 4.720.640	\$ 4.450.790	\$ 4.095.640
Flujo de caja alternativa 2 Zeolitas-Resinas					
Inversión inicial : \$22'875.030					
Alternativa 2	\$41.359.660	\$19.957.128	\$ 41.718.050	\$ 20.654.809	\$ 20.934.851

Costos y Gastos	-	-	-	-	-
Inversión de insumos y materiales	\$22.470.000	\$1.030.928	\$22.580.230	\$1.097.071	\$1.133.360
Otros varios	\$ 10.000.000	\$10.320.000	\$ 10.639.920	\$ 10.959.118	\$ 11.287.891
Consumo de energía	\$ 3.874.750	\$ 3.580.600	\$ 3.482.500	\$ 3.578.620	\$ 3.490.600
Consumo de agua	\$ 5.014.910	\$5.025.600	\$ 5.015.400	\$ 5.020.000	\$ 5.023.000
Diferencia entre Flujo Alternativa 1- Alternativa 2: Ahorro anual					
AHORRO ANUAL	\$14.892.756	\$3.111.914	\$22.854.750	\$ 3.424.872	\$3.927.150
AHORRO ACUMULADOS	\$14.892.756	\$11.780.842	\$34.635.592	\$ 31.210.720	\$ 27.283.570

Fuente: (Propia, 2019)

Tabla 39

Indicadores de Evaluación de Alternativas

Índices de Evaluación	Alternativa 1 Bioadsorción	Alternativa 2 Zeolitas y resinas
Valor presente de la suma de los flujos actualizados	\$ 254.216.978	\$ 212.463.858,07
Valor Actual Neto (VAN)	\$ 243.446.862	\$ 189.588.828,07
Tasa Interna de Retorno (TIR)	4,19	1,60
Índice de costo beneficio	\$ 23,6039	\$ 9,2880

Fuente: (Propia ,2019)

7.3.3 Resultados del Estudio de Viabilidad Ambiental

En este apartado se pretendió evaluar los posibles efectos en la calidad ambiental con la implementación de la alternativa de bioadsorción y se compara con la alternativa de zeolitas-resinas y en vista de que la viabilidad ambiental incluye los aspectos técnicos y económicos. Se evaluaron los aspectos técnicos, económicos y ambientales como ejes principales del análisis comparativo ponderados entre 30%, 30% y 40%, respectivamente

dando prevalencia al desempeños de las dos alternativas de tratamiento terciario. **Tabla**

40.

Tabla 40

Matriz de Calificación de los Items de Evaluación las Alternativas de Zeolitas-Resinas Vs Bioadsorción

Categoría	Subcategoría	Ítem	Ponderación	Zeolitas y Resinas		Bioadsorción	
				Calificación	Total	Calificación	Total
Aspectos técnicos (30%)	Recursos necesarios (15%)	Agua	0,03	1	0,03	2	0,06
		Energía	0,02	2	0,04	2	0,04
		Equipos y materiales	0,05	3	0,15	3	0,15
		Insumos	0,04	1	0,04	3	0,12
		Transporte	0,01	2	0,02	2	0,02
		Desempeño del proceso (11%)	Eficiencia	0,03	2	0,06	2
	Aplicabilidad	0,02	2	0,04	3	0,06	
	Requerimiento de pretratamiento mínimo	0,02	1	0,02	3	0,06	
	Requerimiento de pos tratamiento	0,02	1	0,02	2	0,04	
	Operabilidad del proceso	0,02	1	0,02	3	0,06	
	Experiencia del proceso 4%	Nacional	0,01	2	0,02	3	0,03
		Internacional	0,03	3	0,09	3	0,09
	Aspectos económicos (30%)	Costos de inversión (30%)	Costo de materiales e insumos	0,03	3	0,09	2

		Costo de equipos	0,05	2	0,1	2	0,1
		Costo adsorbente	0,07	1	0,07	3	0,21
		Costo pretratamiento	0,04	1	0,04	3	0,12
		Costo de regeneración de adsorbente	0,11	1	0,11	2	0,22
Aspectos ambientales (40%)	Impactos ambientales (40%)	Aire (emisiones atmosféricas)	0,03	2	0,06	3	0,09
		Aire(ruido)	0,01	2	0,02	2	0,02
		Agua	0,15	3	0,45	3	0,45
		Suelo	0,02	2	0,04	3	0,06
		Flora	0,04	2	0,08	3	0,12
		Fauna	0,03	2	0,06	3	0,09
		Social	0,05	2	0,1	3	0,15
		Generación de residuos	0,07	2	0,14	3	0,21
Total de la evaluación			1		1,91		2,69
% sobre el puntaje máximo					63,67		89,67

Fuente: Tomado y ajustado de (Espinosa & Mera, 2015)

De acuerdo con la **Tabla 40**, la ponderación de cada categoría se muestra de la siguiente manera:

- Para las subcategorías del aspecto técnico se realizó una ponderación en porcentaje dando principal, relevancia a los recursos, seguido del desempeño y por ítem la experiencia en el proceso.
- En relación al aspecto económico el ítem con mayor ponderación fue el costo de regeneración del adsorbente, seguido del costo del adsorbente, y en una menor proporción están costo de equipos y costo de materiales.
- Con respecto a los aspectos ambientales en vista de que el recurso a tratar es el agua se valoró con una mayor ponderación, seguido de la generación de residuos y flora.

8 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

8.1 DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA

8.1.1 *pH en el Agua Residual de la Empresa Galvanotécnica*

Acorde a los resultados mostrados en la **Tabla 24**, el pH del agua residual mostró un comportamiento fuertemente alcalino, con un valor de 9,88, dado posiblemente por la presencia de iones hidroxilos y alta concentración de sales derivadas de carbonatos, bicarbonatos y una cantidad apreciable de metales pesados especialmente del níquel. Este valor de pH superó los límites por norma ambiental.

Este comportamiento se pudo verse influenciado por la utilización de reactivos químicos, tanto para el desempeño de proceso productivo, como en la realización del tratamiento primario y secundario del agua residual indicando, que si bien se trata el vertimiento por diferentes mecanismos como :sedimentación, filtración el uso de agentes químicos como el bisulfito de sodio para la reducción del cromo, o soda caustica para la

precipitación química del cromo y níquel, y rompimiento de los enlaces de cianuro, al igual que el uso de coagulantes, permitió la alteración en el pH del efluente y como afirma Durán, (2016) estas aguas pueden llegar a tener elevada una alcalinidad o elevada acidez dependiendo de los compuestos que se usen.

Por otro lado el resultado obtenido fue similar al reportado por Poonkothai & Vijayavathi (2015) de 9,5 del agua residual, evidenciando que es una característica los pH elevados en las aguas residuales galvanotécnica. Lo que contribuye a generar elementos altamente contaminantes motivo por el cual las empresas de este sector son consideradas según Vyas & Kulkarni, (2011) como los principales aportantes de la contaminación al recurso hídrico.

Lo anterior concuerda con lo encontrado en la presente investigación teniendo en cuenta que aunque si bien la empresa utiliza un método fisicoquímico como la precipitación química para el tratamiento de sus aguas residuales este puede resultar siendo ineficaz generando impactos negativos al ambiente, y como lo afirma Poonkothai & Vijayavathi (2015) los métodos fisicoquímicos como oxidación y reducción, precipitación, separación de lodos tiene como primordial desventaja la generación de lodos altamente contaminantes y por ende poco amigables con el ambiente.

Si bien se hace necesario regular las concentraciones de estos metales pesados el constante uso de elementos químico durante el proceso productivo y tratamiento de aguas residuales, generan grandes afectaciones al recurso hídrico en vista del complejo tratamiento que se tiene que realizar para reducir su concentración, es por ello la necesidad de buscar alternativas que ayuden a mitigar el impacto al recurso hídrico.

Teniendo en cuenta un factor importante como el pH que según Singh *et al.*, (2016) influye en la reacciones químicas llegando a aumentar la toxicidad de los metales.

8.1.2 Temperatura en el Agua Residual de la Empresa Galvanotécnica

De acuerdo a los resultados expuestos en la **Tabla 24**, es una temperatura baja con un 18,3 °C cumpliendo con la norma colombiana. Este comportamiento puede ser atribuido al tratamiento primario y secundario y a su vez a las condiciones ambientales que se presentan en el área donde se realizó la toma de la muestra el cual permitió disminuir este parámetro, ya que para el proceso productivo requieren elevadas temperaturas como se puede observar en los **Anexo 11** y **Anexo 12**, siendo la temperatura ambiente la que reguló este parámetro durante el tratamiento primario y secundario lo cual permite poder realizar los mecanismos de óxido-reducción como por ejemplo con el Cr ⁺⁶ que según Moya, (2013) se usan sales de bisulfito y soluciones ferrosas para el proceso de reducción seguido de una precipitación alcalina para que sea un agente menos contaminante. Esto concuerda con lo encontrado en la presente investigación el cual utilizan estos reactivos químicos como se indicó en el anterior parámetro evaluado, a su vez la temperatura como se observa no es elevada siendo un factor determinante para la inhibición de la concentración de elementos tóxicos como los metales pesados.

Cabe resaltar que para los procesos de oxidación química en el agua con una alta concentración de contaminantes oxidables requiere una temperatura elevada para una mayor efectividad. (Rodríguez *et al.*, 2006). Contrario a lo presentado en la empresa Galvanotécnica, dando a entender que hay una baja oxidación química, lo cual genera

dificulta reducción de los elementos contaminantes altamente tóxicos como los metales pesados de cromo, cobre y níquel.

En vista de que en los procesos productivos que realiza la empresa galvanotécnica utilizan mecanismos de frío y calor, y este ítem comparado con las aguas no contaminadas es alto, y como lo afirma Sastre (2007) con un volumen de agua utilizado en los sistemas de refrigeración, este tipo de procesos puede llegar a generar reacciones bioquímicas a altas velocidades lo cual genera un aumento de temperatura. (p. 37). Contrario a lo que sucedió en la presente investigación debido a las interacciones y mezclas que se encuentran tanto en los baños metálicos como en los tratamientos primarios y secundarios usados por la empresa.

8.1.3 Conductividad Eléctrica en el Agua Residual de la Empresa Galvanotécnica

De acuerdo a los resultados expuestos en la **Tabla 24** en el agua residual fue de 37 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valor que se encuentra dentro del parámetro que indica el IDEAM que abarca de 0,0 a 1999 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (Suárez, 2006). Este valor se dio debido a diversos elementos que intervienen durante el proceso productivo como las aleaciones y los respectivos baños metálicos. (Lombana & Saavedra, 2018) . Esto concuerda con lo que se observa en la empresa ya que los baños y sus respectivos enjuagues presentan como característica una alta conductividad eléctrica ya que se componen de: sales inorgánicas, minerales, cationes y aniones, es decir electrolitos que se encuentran presentes en la muestra.

Por otro lado, la cantidad de sólidos disueltos como los metales pesados se caracterizan por tener una alta conductividad eléctrica. (Reyes *et al.*, 2012). Lo anterior se relaciona con lo encontrado en la empresa Galvanotécnica debido a que utilizan diversos compuestos químicos como: CUCN, Na_2CO_3 , NaCN, NiSO_4 , NiCl_2 , presentes en los

diferentes baños metálicos ver **Anexo 11** y **Anexo 12**, todos estos son componentes con una alta conductividad y contribuyen a mantener unas condiciones de operación óptimas durante el proceso productivo para obtener un buen recubrimiento metálico.

También este valor obtenido inicial es inferior comparado con el arrojado por Murillo, (2016) en su investigación titulada “Propuesta de Tratamiento para el Agua Residual Industrial Generada Por Procesos De Cromado Mediante Electrocoagulación” que fue de 18mS/m, indicando que hay una alta presencia de electrolitos como cloruro de sodio (NaCl) o cloruro de calcio (CaCl_2) que benefician el aumento de la conductividad. (Murillo, 2016, pág. 48). En relación a la presente investigación el agua residual de la empresa Galvanotécnica una conductividad eléctrica que pudo llegar a generar una alta concentración de iones metálicos ya que también utilizan componentes de cloruro de calcio que son un componente especial para el aumento de metales pesados lo cual hace necesario buscar mecanismos eficientes y a bajo costo que ayuden a disminuir estos elementos como lo es los residuos vegetales de mazorca de maíz-

8.1.4 *Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) en el agua residual de la empresa Galvanotécnica*

De acuerdo a los resultados mostrados en la **Tabla 24** la DQO del agua residual mostró un comportamiento superior al límite permisible normativo. Teniendo en cuenta que este parámetro se utiliza para estudiar el comportamiento de la materia orgánica estos resultados concuerdan con lo que se evidencia en otras investigaciones como la realizada por Poonkothai & Vijayavathi (2015) donde caracterizaron el agua de una industria Galvánica arrojando como resultado 1502 mg/L (p. 6). En otra investigación realizada por Vyas & Kulkarni (2011) obtuvieron una DQO de 1440 mg/L (p. 1650). Lo cual indica

que la industria galvánica es una de las principales fuentes de contaminación al recurso hídrico debido a que contienen dentro de sus baños compuestos electrolíticos sales, iones metálicos, siendo estos compuestos altamente tóxicos los que inhiben el desarrollo de la biota acuática por la baja o nula presencia de oxígeno.

Continuando con el resultado de DBO_5 como se observa en la **Tabla 24** supera la norma ambiental. Este parámetro se encuentra relacionado con la cantidad de oxígeno disuelto que necesitan los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica presente en el agua residual. (Franco & Cárcamo, 2017). Esto se relaciona en la presente investigación ya que en el agua residual se hace necesario disminuir al concentración de los elementos contaminantes como los metales pesados en otros que permita realizar procesos aerobios a los microorganismos, con la materia orgánica presente en el medio y como indica el IDEAM, (2007) esta materia orgánica la puede transformar por medio de reacciones de óxido-reducción en CO_2 y H_2O NH_3 entre otras sustancias gaseosas y volátiles.

El resultado de la presente investigación indica la baja calidad del agua, debido la ausencia de microorganismos que necesitan del oxígeno para sobrevivir, este parámetro se considera uno de los más importantes para la calidad del agua y depende de factores como reoxigenación atmosférica, respiración animal y vegetal, demanda béntica. (Banerjee *et al.*, 2019). A su vez concuerda con Vyas & Kulkarni (2011) que afirman que este tipo de industrias generan volúmenes de agua residuales con altas concentraciones de contaminantes, y llegan afectar al ecosistema acuático de diversas formas como con el agotamiento de oxígeno disuelto.

Por otro parte las características de biodegradabilidad son de vital importancia en aguas residuales. (Sierra *et al.*, 2011). Da una aproximación cuantitativa de la biodegradabilidad de un agua residual se da por la relación de la DBO₅ y la DQO

Con el relación al índice de biodegradabilidad obtenido de la muestra residual galvánica se tuvo un valor de 0,48 ppm O₂ según Sierra *et al.*, (2011) es considerada es poco biodegradable ya que oscila entre 0,3 a 0,7 (p. 12). Esto puede ser atribuido a que posee elevadas concentraciones de sales inorgánicas (cloruro de sodio y carbonatos) y de metales pesados. (Poonkothai & Vijayavathi, 2015). Indicando que se hace necesario un tratamiento fisicoquímico. Esto concuerda con lo que se evidencia en el agua galvánica ya que por los diferentes componentes altamente tóxicos que utiliza la empresa tanto en su proceso productivo como en el tratamiento primario y secundario efectuado pueden llegar a afectar la disponibilidad de oxígeno en el medio haciendo necesario un tipo de tratamiento químico.

También cabe resaltar que esta biodegradabilidad en aguas residuales depende de la población de microorganismos a la que se enfrente en vista de que son los que presentan la capacidad de degradar o realizar una descomposición aerobia hasta nitritos, nitratos, alcoholes, ácido sulfúrico. (Osorio & Peña, 2002).

8.1.5 Sólidos Suspendidos Totales (SST) en el Agua Residual de la Empresa Galvanotécnica

De acuerdo a los resultados expuestos en la **Tabla 24**, supera el límite normativo, lo cual evidencia una alta presencia de partículas orgánicas o inorgánicas (partículas de

polvo o arrastres de partículas de los baños) que pueden llegar a caer en los baños electrolíticos y respectivos enjuagues del proceso. Esto concuerda con la investigación realizada por Scarazzato, Panossian, Tenorio, Pérez & Espinosa (2017) que indican que los desechos de procesos galvánicos pueden ser peligrosos y a su vez generar pérdidas de materia prima. La presencia de suciedades aceites, grasas, sales metálicas, óxidos, polvos abrasivos, óxidos metálicos y no metálicos.

Por otro lado cabe resaltar que el uso de floculante polielectrólito catiónico que actúa como un coagulante siendo parte del tratamiento primario hace que se generen lodos por aglomeración que son de difícil degradación y como afirma Alcázar (2014) no se eliminan del todos los metales pesados presente en el agua residual. Lo que evidencia y resalta la problemática constante que se tienen con este tipo de efluentes industriales en el cual los residuos líquidos pueden contener concentraciones de metales, ácidos y álcalis que pueden llegar a quedar en el agua después de realizado el proceso.

Se hace evidente que la característica de este tipo de aguas residuales es que presentan altas cargas contaminantes que según Vyas & Kulkarni, (2011) estas sustancias afectan al ecosistema acuático permitiendo el asentamiento de sustancias suspendidas en condiciones anaerobias y según afirma Quintero & Virguéz (2017) pueden ser compuestos de hidrógeno, carbono, halogenados, cianurados o metales pesados de níquel (Ni), cromo (Cr), cobre (Cu). Estos son los compuestos que se encuentran en la empresa como residuos contaminantes en el proceso productivo.

En la empresa galvánica se encuentran una alta concentración de sólidos cuando realizan el tratamiento de sus aguas, generando un alto impacto ambiental al recurso hídrico que si bien tratan de mitigar, las alternativas que encuentran son poco eficientes,

lo cual hace necesario encontrar alternativas económicas y eficientes para tratar este tipo de contaminantes en estas industrias y que sean amigables con el ambiente.

8.1.6 Sólidos Sedimentables (SSED) en el Agua Residual de la empresa

Galvanotécnica

De acuerdo a los resultados mostrados en la **Tabla 24** los sólidos sedimentables en el agua residual fueron de $<0,10$ mL/L siendo menores al límite permisible ambiental que es $2,00$ mL/L. Este comportamiento puede ser debido a que se realizó el tratamiento de agua residual primario y secundario que por mecanismos de precipitación y filtración contribuyeron a disminuir la cantidad de partículas presentes en la muestra de agua residual, también a que probablemente los sólidos presentes fueron imperceptibles en el momento de su lectura.

Este resultado fue inferior a lo que obtuvieron Poonkothai & Vijayavathi (2015) en su investigación con una concentración de 3200 mg/L que concluye indicando que una elevada concentración de sólidos sedimentables puede aumentar la densidad y turbidez en el agua (p.4). Contrario a lo que sucedió en la presente investigación lo cual evidencia una baja presencia de elementos sedimentables probablemente este comportamiento se obtuvo en ya que las partículas suspendidas se asientan por fuerza de gravedad y la baja presencia de sólidos coloidales. (Norma Mexicana, 2013), (Alcázar, 2014)

8.1.7 Turbidez en el Agua Residual de la Empresa Galvanotécnica

De acuerdo a los resultados expuestos en **Tabla 24** la turbidez fue baja este comportamiento se puede atribuir a que se efectuó el tratamiento primario y secundario en

los cuales se realizaron los procesos de coagulación-floculación utilizando el floculante polielectrolítico, sedimentación y filtración que permitieron reducir la concentración de partículas ya sea de metales pesados, cloruros, sulfatos presentes en el agua residual. Este resultado concuerda con lo que indica Ramírez & Jaramillo (2015) en relación a que procesos como la coagulación y floculación permite la remoción de partículas suspendidas coloidales.

Comparado con otras investigaciones, en la cual el efluente bruto de industria Galvánica presentó una alta turbidez, debido a la descarga de grandes cantidades de sólidos como carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, calcio y magnesio que son utilizados en este tipo de industrias. (Poonkothai & Vijayavathi, 2015). Contrario al resultado obtenido en la presente investigación indica que la empresa Galvanotécnica presenta una baja turbidez, debido a que dentro de su proceso productivo utiliza menores concentraciones de cloruros, sulfatos y calcio y que se realizó el tratamiento del agua residual primario y secundario que permitió la baja turbidez en la muestra teniendo en cuenta que se realizaron procesos de sedimentación y filtración lo cual hace que se disminuyan la concentraciones de entes coloidales.

8.1.8 Metales pesados en el Agua Residual de la Empresa Galvanotécnica con tratamiento primario y secundario

Como se puede observar en la **Tabla 24, Figura 17** el metal con menor concentración en el efluente de la empresa Galvánica es el Cobre le sigue el Cromo y por último el níquel, siendo este último metal el que vierte en mayor concentración la empresa Galvanotécnica dentro de su proceso productivo; ello concuerda con la investigación realizada por Yang *et al.*, (2016) indicando que los iones de metales pesados de níquel

son representativos en industrias como la galvanoplastia, debido a su hipertoxicidad y abundante existencia en el medio ambiente, según la Organización Mundial de la Salud (OMS) estipula que se debe reducir el níquel a un 0,02 mg/L. (p. 213)

Como se observa en la **Figura 17**, los metales Cobre y Cromo cumplen con el límite permisible estando por debajo de la normatividad ambiental colombiana y el Níquel supera los límites permisibles normativos. No obstante las reacciones químicas efectuadas en el tratamiento primario y secundario contribuyeron a tener este resultado como se explicó en los anteriores apartados los procesos químicos de precipitación y oxido reducción. Si se supera los límites permisibles pueden llegar a tener efectos biológicos, y según Urrutia, (2019) pueden variar, dependiendo de la naturaleza física o química del compuesto, la cantidad o concentración que entra o se pone en contacto.

Lo anterior concuerda con lo que se encuentra en la muestra de agua residual de la empresa galvánica generada de los procesos de recubrimiento en la que los metales pesados como el cromo, cobre y níquel se presentan con estado de oxidación de +3, +2, +2 respectivamente teniendo pesos moleculares y densidades altas los caracterizan como elementos químicos complejos, pueden llegar a afectar el recurso hídrico ya que estos elementos presentan una alta estabilidad química y hace que se acumulen en los organismos presentes en el agua. Siendo altamente tóxicos para el ser humano. Según López & Vargas (2018) puede llegar a generar afectaciones como: cáncer de pulmón, necrosis hepática, sistema digestivo, pérdida de memoria edema pulmonar, problemas motrices, hasta la muerte.

Los resultados anteriores coinciden con lo expresado por los operadores de la empresa de galvanotecnia en relación a que el níquel es el metal más abundante y debido

a su naturaleza peligrosa es reconocido como uno de los contaminantes con mayor prioridad que se han depositado en el medio ambiente, y generando afectaciones a la salud humana como cáncer de pulmón, afectaciones al sistema nervioso, insuficiencias respiratorias, daños al ADN (Islam *et al.*, 2019), (Arunkumar *et al.*, 2014)

Como se puede apreciar en los resultados anteriormente expuestos el agua residual de la empresa Galvanotécnica sin tratamiento terciario la mayoría de los parámetros superan los límites permisibles, indicando que los compuestos que utilizan impactan negativamente el recurso hídrico y por ende la salud pública. Y en vista de que el metal de níquel es el que presentó mayor concentración se usó para el desarrollo del siguiente objetivo.

8.2 DISCUSION DE RESULTADOS DE LA BIOADSORCION DE NIQUEL CON HOJAS DE MAZORCA DE MAÍZ (ZEA MAYS L)

8.2.1 *Ensayo Discontinuo con y sin HCl al 20%*

Acorde a los resultados mostrados en la **Tabla 25** con un valor de 0,109mg/L se evidencia que la composición natural del bioadsorbente predomina en la eficiente captación de iones de níquel que después de adsorber níquel con la biomasa activada con HCl al 20% y no activada, no presenta diferencia en la remoción de Níquel. Este resultado se debe a que algunos grupos funcionales de la biomasa como: los grupos carbonilo, hidroxilo, sulfato, fosfato y amino se pierden con el tratamiento de ácido pudiendo causar una degradación de componentes químicos presentes en la pared celular como polisacáridos estructurales, proteínas ligadas a las fibras y sales de silicio entre otros. (Gupta, Rastogi, & Nayak, 2010)

Sin embargo, la interacción de los iones de níquel con los grupos funcionales de la biomasa de las hojas de mazorca de maíz lavada con HCl también pudo verse afectada por la activación de grupos funcionales no tan afines con estos iones metálicos. Este resultado concuerda con lo que expone Tejada *et. al.*, (2015) que si bien el níquel se encuentra dentro de los iones metálicos intermedios que se caracterizan por tener afinidad con los tres tipos de ligando (Grupo I, II; III) a su vez pueden llegar a tener diferentes preferencias de ligandos.

Por otro lado, el resultado de la biomasa modificada con ácido indica que no influyó en la capacidad de adsorción del adsorbente de una manera óptima ya que puede ser que no se activaron grupos funcionales afines a los iones de níquel, el cual probablemente este comportamiento de tener una mayor eficiencia sin reactivo puede ser atribuida a la composición química del adsorbente que favorece esta interacción. Ver **Tabla 25** y como lo afirma García & Colín, (2010) se debe “a la presencia en los bioadsorbente de sus proteínas, carbohidratos, compuestos fenólicos y de grupos funcionales de unión a metales, como los grupos carbonilo, hidroxilo, sulfato, fosfato y amino”. (p.2079). Es por ello que este bioadsorbente no requiere la adición continua de reactivos. En vista de estos resultados se optó por el material vegetal lavado solo con agua destilada para la etapa de la columna de bioadsorción en lecho continuo.

8.2.2 Discusión del Análisis Proximal de las Hojas de Mazorca de Maíz

Como se puede observar en la **Tabla 26** se presentó un bajo porcentaje de humedad con un valor de 8,21%, lo cual contribuye a que los procesos termoquímicos sean más eficientes debido a las altas velocidades de la reacción. (Rojas, Flores, &

López, 2019). Y a su vez a la baja concentración de agua en el material vegetal evaluado.

Continuando con las cenizas se evidencia un porcentaje bajo con un valor de 2,82, aunque superior al comparado con la investigación realizada por Prado *et al.*, (2012) donde la mazorca de maíz tuvo un 0,761% de cenizas (p. 42). Esto puede atribuirse a que las cenizas son consideradas material inorgánico que no se volatilizó, a su vez este resultado concuerda con lo que afirma Rojas *et al.*, (2019) el contenido de cenizas en residuos agroindustriales es generalmente pequeño e inferior al 10%, el cual puede intervenir en los procesos termoquímicos que pueden ser destinados ya sea (pirolisis, gasificación o combustión). (p.42).

Con relación al porcentaje de material volátil fue alto como se observa en la **Tabla 26** este comportamiento puede estar relacionado con sus propiedades y según Causil & Guzmán, (2018) evidencian la facilidad que presenta este tipo de adsorbente para combustionar, siendo un elemento determinante para evaluar el bioadsorbente en determinados procesos. Como lo afirman Fonseca & Giraldo, (2014) el maíz puede ser una materia prima para la preparación de carbones activados siendo este un factor fundamental en el proceso de adsorción. Esto concuerda con lo reportado en la presente investigación en relación a los posibles mecanismos de activación del adsorbente vegetal que requieren energía para su activación. Pudiendo ser una característica importante para evaluar la recuperación de níquel en próximas investigaciones.

Por otro lado en relación el porcentaje de Carbono fijo obtenido como se observa en **Tabla 26** fue inferior al obtenido por Causil & Guzmán (2018) en donde obtuvo un 7,94%. (p.43). Esto puede ser atribuido a la fragmentación de los componentes de las

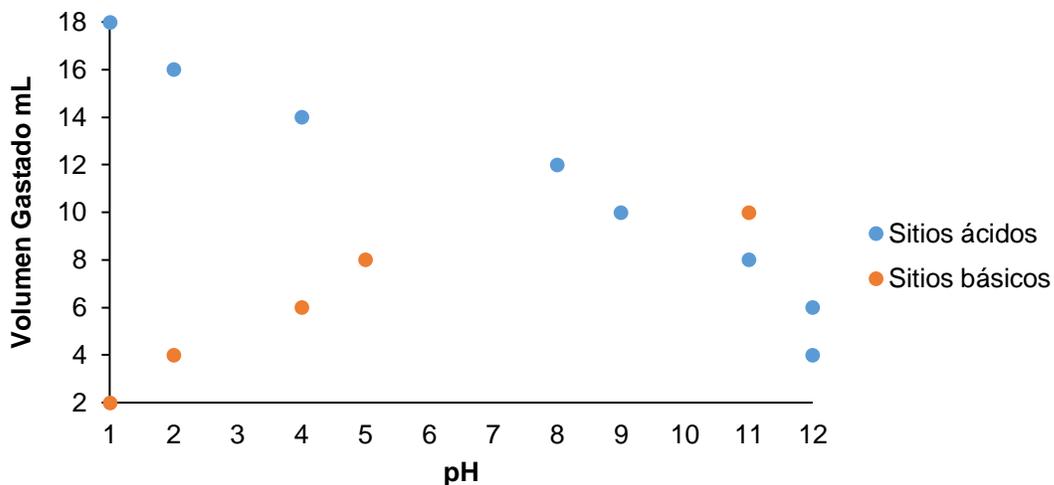
hojas de mazorca de maíz, como la lignina los cuales pueden generar un bajo porcentaje de carbono fijo.

Determinación de sitios ácidos y básicos

Acorde a los resultados expuestos en la **Figura 21** y la **Tabla 27** indican que hay una mayor presencia de grupos ácidos que básicos, este comportamiento puede atribuirse a la composición de la superficie del adsorbente de hojas de mazorca de maíz, que como lo afirma Ramos, (2010) contienen grupos funcionales como: carboxilos, lactonas, hidróxilo o fenoles, lo cuales generan las superficies ácidas y se caracterizan por ceder al medio iones de H. A su vez concuerda con una etapa de proceso de adsorción ya que estos sitios liberados pueden ser ocupados por iones metálicos de níquel. Además concuerda con la investigación realizada por Coronel, (2017) donde obtuvieron un 88% en presencia de grupos ácidos (p.50). Evidenciándose un parámetro característico en este tipo de adsorbente

Figura 21

Curva de Calibración Determinación de Sitios Ácidos y Básicos de Hojas de Mazorca de Maíz



8.2.3 Bioadsorción con Hojas de Mazorca de maíz (*Zea mays L*)

8.2.3.1 Análisis de los Parámetros Físicoquímicos Iniciales y Finales del Proceso de Bioadsorción

En los siguientes apartados se abordan los parámetros físicoquímicos iniciales tomados a las primeras 3 horas de iniciado el proceso y finales del proceso de bioadsorción ver **Tabla 28**.

a. Variación de la DO, en el proceso

De acuerdo a los resultados expuestos en la **Tabla 28** se observa un incremento en 7,5 mg/L en el parámetro de lectura final indicando un mayor efectividad en aumentar la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para poder degradar la materia orgánica presente en el agua, a su vez se encuentra dentro del rango establecido por el IDEAM. Este resultado puede ser atribuido a que se utilizó un material vegetal el cual

dentro de su superficie presenta proteínas, carbohidratos y demás elementos que pueden contribuir a poder degradar la materia orgánica presente en el medio.

Sin embargo, como lo indican Sallam & Elsayed (2018) existen otros factores ambientales (físicos y químicos) como el pH del agua, la temperatura atmosférica y del agua, la salinidad, el intercambio atmosférico que contribuyen al mantenimiento de los niveles de oxígeno disuelto.

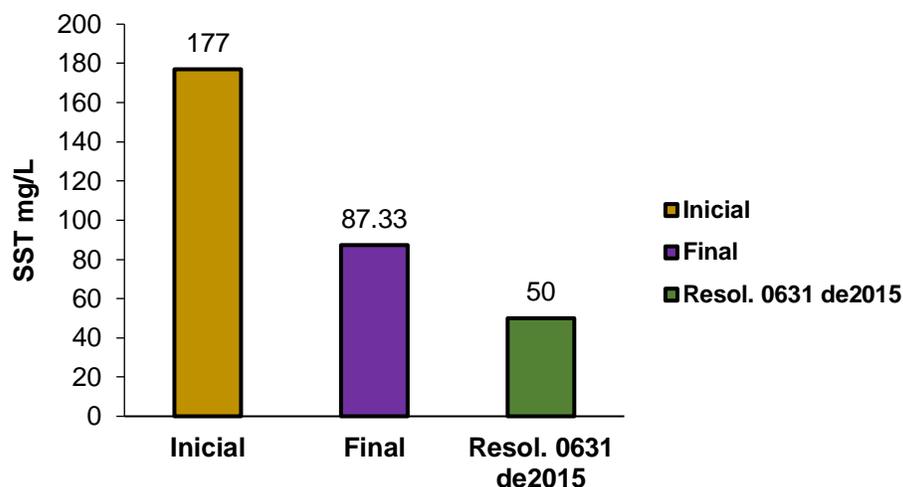
Por otra parte la manipulación al recolectar las muestras pudo haber influido en la re oxigenación del efluente que arrojó como resultado un mayor valor de OD en la fase final de la bioadsorción también la variación de pH puede llegar a afectar este parámetro. Esto concuerda con lo que afirma Valdés & Vásquez (2003) que el agua en contacto con el aire realiza procesos de desoxigenación y reoxigenación.

b. Variación de SST, en el proceso de bioadsorción

Con relación a este parámetro se puede observar en **Tabla 28** y **Figura 22** que dicho comportamiento se puede atribuir a el tratamiento de bioadsorción efectuado el cual permitió una disminución en la concentración de Sólidos Suspendidos totales en la etapa final de la bioadsorción, evidenciando la versatilidad que tiene este adsorbente de maíz para poder contribuir a disminuir la carga contaminante presente en este tipo de aguas residuales. A su vez concuerda con lo que afirma Ali *et al.*, (2014) que este material vegetal presenta un desempeño óptimo para el tratamiento de aguas residuales de galvanotecnia.

Figura 22

Variación de SST en el proceso



Este resultado presenta un comportamiento similar a lo obtenido por Ali *et al.*, (2014) donde obtuvieron una disminución de 600mg/L equivalente a un 65,7% de eficiencia indicando que este material vegetal presenta una reducción de estos elementos contaminantes. (p. 126) .No obstante se hace necesario mayores procesos de filtración previos al tratamiento de bioadsorción, ya que en la presente investigación no cumple con la norma ambiental.

c. Variación de SS en el proceso de bioadsorción

De acuerdo a lo expuesto en la **Tabla 28** este parámetro presentó tanto en la etapa inicial del proceso como la final el mismo resultado indicando que una baja presencia o nula de materiales al fondo de las muestras llevadas al laboratorio acreditado, también se puede observar que se encuentra dentro del rango del límite permisible normativo el cual es de 2mg/L. A su vez puede deberse a que el adsorbente pudo

interactuar con algunas partículas en suspensión interviniendo así en la turbidez como en el presente parámetro.

d. Variación de conductividad eléctrica y turbidez en el proceso de bioadsorción

En relación a la conductividad eléctrica se observa en la **Tabla 28** un incremento a 712000 en la fase final del proceso de bioadsorción esta variación se puede relacionar con la composición que tiene cada una de las etapas del proceso productivo como se observa en los **Anexo 11** y **Anexo 12** los cuales son materiales altamente conductivos y según Frason (1992) se debe a diversos factores como: la presencia de iones, concentración total, su movilidad valencia y concentraciones relativas, también este tipo de aguas residuales industriales que exhiben una conductividad superior a 10,000 μ mhos/cm. (p. 63). Esto concuerda con los resultados arrojados en la presente investigación del agua residual de la empresa Galvanotécnica después de realizado el proceso de bioadsorción puede deberse a que se quedaron partículas de los diferentes iones metálicos utilizados en el proceso como de cobre el cual se caracteriza por poseer una alta conductividad y que a su vez no pudieron ser disociadas por el bioadsorbente de las hojas de mazorca de maíz.

Por otro lado cabe resaltar que los baños metálicos se caracterizan por mejorar la conductividad eléctrica de la pieza a tratar, debido a esto la composición del agua residual que trata la empresa Galvanotécnica puede variar en relación al estado de los enjuagues y por ende puede haber una mayor concentración de cierto tipo de sustancias como: níquel, cromo y el cobre este último se caracteriza por tener una alta conductividad eléctrica, lo cual pudo influir en el aumento de la conductividad eléctrica final obtenida en el proceso.

Con respecto a los resultados finales relacionados con la turbidez presentaron una reducción como se observa en la **Tabla 28** ya que paso de 92,5 a 23, 4 NTU lo cual indica una disminución de los materiales en suspensión al pasar el tiempo de un 74%. A su vez esta turbidez reportada fue baja permitiendo el análisis pertinente debido a que realizaba la transmitancia de luz. También este resultado fue superior al reportado por (Iza, 2019) con un 68,9%. (p. 31) el cual indica que la remoción de estos materiales en suspensión se debe a la composición del residuo vegetal que presenta átomos poliméricos de alto peso molecular que pueden adsorber químicamente partículas coloidales.

d. Variación de pH y temperatura durante el proceso

Como se puede observar en la **Tabla 29** el pH presentó rangos que se encuentran entre 9,98-12,69 siendo alcalino el medio, superando el límite permisible por norma que se encuentra entre 6-9, estas variaciones de pH, se pueden atribuir a los procesos químicos realizados en los tratamientos de agua residual primario y secundario los cuales utilizan componentes que alteran el pH como: el hidróxido de sodio (NaOH) para subir pH a 12-13 para la precipitación del para el níquel o hipoclorito de sodio para romper cianuros de cobre. Este resultado concuerda con lo que afirma Barrera *et al.*, (2006) que estas alteraciones abruptas de pH se encuentran relacionadas con el proceso de adsorción directamente con la competencia de iones de hidrógeno con iones metálicos por sitios activos del adsorbente.

Por otra parte estos rangos de pH básicos se pudieron haber dado también por los compuestos químicos que se utilizan en el proceso productivo como los cianatos, sales que al interactuar con el adsorbente pudieron haber generado en los grupos funcionales

como los OH y C=O del adsorbente un cambio en el estado de estos grupos y así efectuar un cambio en la interacción que tiene con elementos contaminantes como el Níquel. Este resultado concuerda con lo que indica que (Leon, 2017) en que los grupos ácidos tienden a liberar protones especialmente en medios básicos.

El comportamiento del pH en la presente investigación fue similar a lo reportado por Samuel *et al.*, (2016) el cual indica que la disminución en la eliminación de iones metálicos a pH más alto puede deberse a la solvatación e hidrólisis del ion metálico para formar complejos hidroxilados solubles que compiten por los sitios activos.

Por otro lado con el parámetro de temperatura dentro del proceso se encontró en un rango de 18 a 21°C ver **Tabla 29** cumpliendo la norma ambiental que estipula. Aunque este parámetro es un factor determinante estas variaciones de temperatura pudieron darse por diversos factores como la manipulación de las muestras y las condiciones atmosféricas en el momento de realizar el proceso. Siendo un comportamiento exotérmico característico de la adsorción, que se establece en un rango de 15-40°C. (Shah, Kumar, Sharma, Sharma, & Sharma, 2016, pág. 52)

Como se puede observar en los análisis anteriores aunque hubo disminución en varios parámetros solo dos de los parámetros cumplen con lo estipulado por norma, los demás parámetros no cumplen con los límites permisibles normativos expuestos en la resolución 0631 de 2015.

8.2.4 Análisis de la Bioadsorción de Níquel con Hojas de Mazorca de Maíz (*Zea mays L*)

Cabe resaltar que la concentración inicial de níquel fue de 1,29 mg/L y como se observa en la **Tabla 29** se encuentran los datos obtenidos de la columna de bioadsorción de níquel con el adsorbente de hojas de mazorca de maíz.

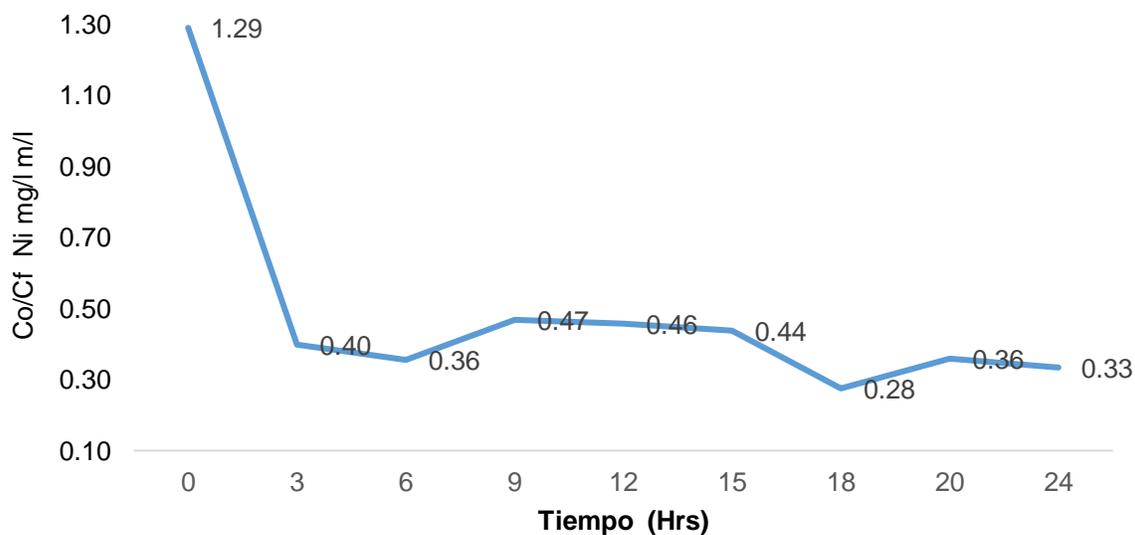
Las variaciones entre la concentración inicial (la cual fue tomada antes de iniciar el proceso de bioadsorción) comparada con la concentración final evidencian una reducción en la concentración de níquel presente en el agua residual galvánica, aunque si se hace necesario un mayor tiempo de contacto para su completa colmatación, se ve la efectividad de este residuo vegetal en el proceso de bioadsorción de níquel. Ver **Figura 18** Teniendo en cuenta que: $C_0 = 1,29 \text{ mg/L}$ y $C_f = 0,334 \text{ mg/L}$.

Continuando con los porcentajes de remoción como se observa en la **Tabla 29** la mayor remoción de adsorción fue (0,275 mg/L) con equivalente a un 78,68% de remoción, la siguiente bioadsorción se encuentra en (0,334 mg/L) y 74,11% a las 24 horas, **Tabla 29, Figura 23**. Estos resultados indican que aunque se presentó una remoción de níquel con las hojas de maíz como adsorbente su remoción pudo verse alterada por la disminución de los sitios activos en la superficie del adsorbente que funcionan como sitios de intercambio iónico siendo los principales grupos funcionales los grupos carboxilo, hidroxilo los cuales se pudieron verse afectados por las variaciones de pH, teniendo en cuenta que inicialmente en el adsorbente de maíz predominan los grupos ácidos los cuales se caracterizan por liberar H^+ al medio básico. Lo anterior concuerda con lo que afirma Vera *et al.*, (2015) el pH es un parámetro que puede cambiar la naturaleza química del adsorbente, interviniendo en la disponibilidad de sitios libres dependiendo si el adsorbente presenta grupos de unión ácidos tienden a ceder protones al medio y básicos tienden a captar en el medio ácido.

También se observa en la **Tabla 29** que si bien presentan variaciones de con pH, según Almendros, (2016) “si el pH aumenta esto contribuye a cargar la superficie negativamente lo que incrementa la adsorción de metales pesados por interacciones electrostáticas, pero si son valores elevados de pH inhibiría el proceso de adsorción y se efectuaría la precipitación del metal”. Esto concuerda con lo que se evidencia en la presente investigación que aunque se presenta adsorción de iones de níquel el mecanismo del bioadsorbente se pudo ver influenciado por este factor, otro factor que quizás también tuvo influencia es la presencia de impurezas que pudieron haber alterado el proceso de bioadsorción que si bien fue algo eficiente en la remoción de este elemento altamente contaminante como el níquel.

Figura 23

Concentración de Níquel Vs Intervalo de Tiempo



Fuente: (Propia, 2019)

En la **Figura 23** se observa que no se presentó una completa saturación en el proceso de adsorción en el transcurso del tiempo aunque si se presentó una variación en la concentración los iones de níquel en el efluente entre las 9, 12 y 15 horas **Tabla 29**, **Figura 23**, estos siendo los menores porcentajes de remoción se deben a la colmatación en el sistema y como lo afirma Muthusamy *et al.*, (2012) es la falta de área de la superficie para acomodar muchos más iones de níquel disponibles en la solución generando una inestabilidad en el mecanismo de adsorción.

Además otro factor que pudo haber contribuido a la baja disponibilidad de sitios activos en la superficie del adsorbente es la competencia de los iones de níquel por los sitios activos con otros elementos como el cromo o el cobre y otros componentes presentes en el efluente, adicionalmente otro factor que pudo haber influido es la turbidez permite evidenciar que es necesario un tratamiento previo que realice la remoción de sólidos en suspensión antes de efectuar el tratamiento propuesto en la presente investigación, para así obtener una mejor eficiencia en la adsorción de níquel.

Continuando con la mayor remoción de Níquel equivalente a un 78,68% como se observa en la **Tabla 29** y **Figura 23** es un resultado inferior comparado a lo reportado por Ali *et al.*, (2014) el cual fue de un 99,90% y con un menor tiempo de contacto de 2:38 h (p.128). Este comportamiento en la remoción de níquel, también pudo haberse dado por factores como el peso molecular, la forma o la polaridad de algunas moléculas que hace que se sostengan más fuertemente en la superficie que otras, o se debe a que los poros son demasiados pequeños para poder admitir moléculas grandes. A su vez la eficiencia de la eliminación de níquel se ve obstaculizada por la presencia de especies inorgánicas en el efluente industrial mixto ya que como anteriormente se explicó la variedad de

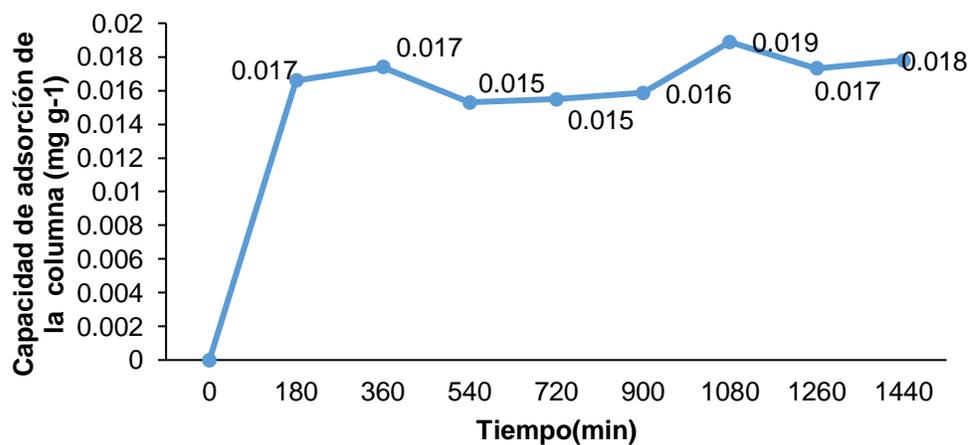
componentes presente en el agua pueden afectar el resultado por la competencia que generan por los sitios de unión.

8.2.4.1 Capacidad de Adsorción de Metal Pesado de Níquel con Bioadsorbente de (*Zea mays L*) Ensayo Continuo.

Como se puede observar en la **Figura 24** se presenta la capacidad de adsorción por cada intervalo de muestreo.

Figura 24

Capacidad de Adsorción Calculada en cada Intervalo de Tiempo



Esta capacidad de adsorción de la columna para cada intervalo de tiempo indica que en los primeros 180 minutos se obtuvo una capacidad de adsorción de 2,22mg de Ni

y esta capacidad de adsorción fue variable llegando de 0,0178 mg g⁻¹ y siendo la máxima obtenida de 0,0189 mg g⁻¹ como se observa en la **Figura 24** estos resultados obtenidos podrían indicar que se hace necesario un mayor tiempo de contacto para su completa saturación ver **Tabla 29**, y **Figura 24**. Este resultado concuerda con lo que afirma (Altamirano, 2015) en relación a que las fuerzas moleculares como el intercambio iónico en la superficie de un líquido y sólido se encuentran en un estado de instauración, debido a que no tienen satisfechas sus fuerzas de unión permitiendo la atracción de estas moléculas para así retenerlas en su superficie, siendo este el mecanismo principal de adsorción de iones como el níquel.

Por otro lado el comportamiento de la capacidad de adsorción se pudo ver influenciada por varios factores y como lo afirma Altamirano (2015) “la naturaleza del adsorbente, las propiedades fisicoquímicas del contaminante a retirar y del medio en el cual se realiza el proceso, permitiendo este último cambiar las propiedades físico–químicas del adsorbente, como solubilidad, carga superficial, carácter hidrófobo-hidrófilo, etc.; la accesibilidad a los sitios de adsorción por recubrimiento de la superficie externa del adsorbente”.(p 14). Esto pudo ocurrir en la presente investigación ya que se trataron aguas residuales de una empresa Galvánica en la cual utilizan diversos componentes químicos que a su vez pudieron afectar el comportamiento del adsorbente frente a su interacción con los iones de níquel.

Otro factor determinante en la capacidad de la columna de adsorción son las propiedades fisicoquímicas del adsorbente su afinidad por los iones de níquel pudo darse por los grupos funcionales que presenta el maíz como: (OH, C=O). (Villabona *et al.*, 2018). Los cuales según Tejada *et al.*, (2015) son ligandos afines a los iones de níquel. Y dada la versatilidad que tiene el níquel de unirse a varias clases de ligandos indica que

podría haber tenido una mayor afinidad con los grupos funcionales del adsorbente, sin embargo dicha interacción se pudo ver afectada por la competencia en los sitios activos del adsorbente con otros elementos contaminantes presentes en el agua residual.

Continuando con la capacidad máxima de adsorción de la columna que presentó las hojas de mazorca de maíz, fue eficiente teniendo en cuenta que en el proceso se encontraban otros componentes como el cobre y cromo pudieron entrar en competencia por lo sitios activos, haciendo que la interacción con el adsorbato de níquel sea compleja, a su vez las variaciones de pH y temperatura que si bien pudieron influir indican también que aunque a un pH y temperatura óptima puede remover iones de níquel, en los diferentes rango pH y temperatura presentados aunque presentó variaciones, se observó una remoción de este elemento contaminante como el níquel. Este resultado concuerda con lo que afirma González *et al.*, (2017) en relación a que este tipo de adsorbentes pueden tener una eficiencia en un rango amplio de pH y temperatura.

Comparado este resultado de capacidad máxima de adsorción de níquel con hoja de mazorca de maíz siendo de 0,1422 mg Ni/ g adsorbente, fue inferior al reportado por Fonseca, Giraldo & Moreno (2014) siendo de 43,65mg*g⁻¹. (p. 207). Esto pudo haber sido por las interacciones electrostáticas entre las células del adsorbente que según Chuquilín & Rosales (2016) podría causar una disminución en los sitios de unión de la pared celular por la aglomeración de éstas, es decir, conforme la distancia es mayor, se adsorbe una mayor cantidad de cationes. Esto concuerda con lo obtenido en la presente investigación en una columna de lecho fijo en la cual se pudo haber producido una disminución en la capacidad de adsorción de níquel por la competencia con otras sustancias por los sitios activos como los otros iones metálicos de cobre y cromo.

No obstante las variaciones de pH, temperatura, que se generan en el proceso el proceso productivo y los componentes químicos que utiliza la empresa para el tratamiento primario y secundario de las aguas residuales, pudieron contribuir al comportamiento del adsorbente. Según indica Arunkumar *et al.*, (2014) factores como: el pH, temperatura, tiempo de contacto puede influir en el mecanismo de acción del adsorbente.

Efecto del tiempo de contacto

El tiempo de operación de la columna no fue suficiente, debido a que no se colmato la columna de adsorción. A su vez la capacidad de adsorción vario con el tiempo del experimento como se observa en la **Tabla 29** lo que pudo ocurrir a las 9 horas es que el número de sitios de unión disponibles disminuyeron como las fuerzas de transferencia de masa, pero posteriormente a las 18 horas la columna de adsorción presento una reactivación en el proceso que hace que se presente una mayor adsorción de níquel. Estos resultados concuerdan con lo que indica Sharma *et al.*, (2019) la capacidad de adsorción de elementos contaminantes con la mazorca de maíz en aguas residuales, aumenta con un mayor tiempo de contacto.

Además es interesante el comportamiento del proceso de adsorción a las 9 horas aumento la concentración de níquel y a las 12 y 15 horas disminuyó esto pudo deberse al tamaño de poro y como lo afirma Samuel, Shanthi & Vashantha (2016) los mesoporos se saturan en la etapa inicial de adsorción donde se adsorben los iones metálicos, generando que la fuerza impulsora de la transferencia de masa entre la fase líquida y sólida en un sistema de adsorción acuosa disminuye con el tiempo. No obstante se puede observar que presentó una mecanismo de reactivación de la fuerza impulsora de transferencia a las 18 horas, y a su vez la columna no se saturó.

El resultado obtenido al utilizar esta biomasa como bioadsorbente pudo verse también influenciada por la variedad seleccionada para desarrollar el proyecto, y puede ser diferente a lo reportado previamente, puesto que los estudios que han utilizado esta biomasa son en su mayoría europeos. (Rojas, 2015), (Muthusamy *et al.*, 2012), (Arunkumar *et al.*, 2014). A su vez el continente suramericano presenta una alta variabilidad en el acervo genético del maíz (Cardona, 2010). Esto puede deberse a factores variables como el genotipo, las condiciones ambientales y la interacción de estos factores pueden afectar el comportamiento de esta biomasa.

8.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL DE LA BIOADSORCIÓN DE NIQUEL CON (*ZEA MAYS L*)

8.3.1 *Estudio de Viabilidad Técnica*

➤ *Análisis del estudio de viabilidad técnica (Columna de Bioadsorción de níquel)*

La viabilidad técnica para la presente investigación va a depender principalmente del rendimiento del bioadsorbente de (*Zea mays L*) para adsorber iones metálicos de níquel. Esta interpretación concuerda con lo que indica Bonilla *et al.*, (2017) el cual establece que la actividad del bioadsorbente se va reduciendo gradualmente debido a la acumulación del adsorbato en la superficie del adsorbente produciendo agotamiento del mismo.

Es por ello que se hace necesario la regeneración de bioadsorbente de (*Zea mays L*) la cual es un factor de vital importancia en el proceso de adsorción y para el presente caso se podría considerar un mecanismo químico usando ácido nítrico (HNO_3) como regenerante, que en anteriores investigaciones reportadas indican que el bioadsorbente después de lavado con el regenerante químico tuvo un rendimiento de 11 ciclos. (Yu, Pang, Ai, & Liu, 2016, pág. 21) Indicando la eficiencia de este regenerante con este tipo de bioadsorbente.

Como lo afirma Romero *et al.*, (2017) el mecanismo de acción de este reactivo consiste en la protonación de la superficie, y para la presente investigación se sumerge el bioadsorbente de (*Zea mays L*) en HNO_3 permitiendo así eliminar el exceso de iones presentes en la biomasa y a su vez logra aumentar la cantidad de grupos funcionales como hidroxilo, carboxilo presente en la superficie del adsorbente.

A su vez la composición de las hojas de mazorca de maíz (*Zea mays L*) permiten destacar la eficiencia y versatilidad como adsorbente de elementos altamente contaminantes como los iones metálicos. Y como lo afirma Shah *et al.*, (2016) los residuos agrícolas presentan una composición física y química única cuyos componentes principales son la lignina, celulosa, y variedad de grupos funcionales importantes para los mecanismos de adsorción.

Otro parámetro a tener en cuenta es que el rendimiento del adsorbente se va reducir gradualmente debido a la acumulación progresiva de adsorbatos en la superficie del adsorbente lo que causa su agotamiento. (Bonilla, Mendoza, & Reynel, 2017). Aunque en la presente investigación no se registra colmatación en los sitios activos del adsorbente se observa la competencia iones metálicos de níquel en función del tiempo.

Por otra parte el funcionamiento de esta columna como tratamiento terciario en la empresa Galvanotécnica es por tandas debido a que se generan caudales pequeños lo cual no requieren una operación continúa y podría llegar a ser tratado por baches para mejorar la capacidad de adsorción, cuando se evidencie una concentración alta de níquel. Aunque cabe resaltar que también dependerá del personal de la empresa que considere oportuno la transferencia de las aguas del enjuague terciario del baño de níquel para realizar el tratamiento por bioadsorción a su vez este tratamiento tiene la ventaja de que no requiere de una capacitación detallada lo cual facilita su operabilidad.

8.3.1.1 Comparación técnica de la alternativa de Zeolitas & Resinas Vs Bioadsorción de Níquel con hojas de Mazorca de maíz

Como se explicó en el capítulo 6 la empresa Galvanotécnica utiliza como tratamiento terciario las zeolitas que se caracterizan por tener una baja eficiencia en la remoción de elementos contaminantes como los metales pesados, lo evidenciado en la empresa concuerda con lo que indica Król, (2019) que la granulación de las zeolitas afecta su capacidad de adsorción, a su vez una alta alcalinidad contribuye al daño de aglutinantes en vista de ello la empresa utiliza las resinas de intercambio catiónico, estas últimas resultan costosas y como lo afirma Carolin *et al.*, (2017) su activación y regeneración produce unos contaminantes secundarios, es altamente costosa su operación y se produce una alta concentración de lodo tóxicos. Y como se observa en la **Figura 25** el desempeño en la remoción de Níquel es evidente con el adsorbente de maíz siendo el 74% equivalente a una concentración final de 0,334 mg/L en el agua residual en comparación con las resinas y zeolitas el 61% equivale a 0,503 mg/L este último

superando el límite normativo, evidenciando una vez más la necesidad que tiene la empresa de implementar una nueva alternativa.

Figura 25

Zeolitas & Resinas Vs Bioadsorción con Mazorca de Maíz para Remoción de Níquel



Fuente: (Propia, 2019)

Comparando el tratamiento actual que utiliza la empresa con el propuesto en la presente investigación, en relación a los costos y eficiencia en la remoción, aunque como se explica más adelante en el apartado de viabilidad económica es necesario invertir inicialmente en ciertos equipos para el optimo desarrollo del proceso de adsorción el retorno de la inversión se podría ver reflejada en el mejoramiento o eficiencia en la remoción de níquel con residuos vegetales como las hojas de maíz cuyo costo es nulo, a su vez la facilidad de adquirir este material vegetal fácil manipulación lo hace un material viable y como lo afirman Muthusamy, (2012) Estos residuos agrícolas son considerados un gran potencial para el tratamiento de aguas residuales industriales.

8.3.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS VIABILIDAD ECONÓMICA

Aunque se debe realizar una inversión inicial para la implementación del tratamiento terciario de aguas, para el presente proyecto se establece una vida útil de 5 años.

8.3.2.1 Discusión de las Alternativas de Columna De Bioadsorción Versus Zeolitas y Resinas Utilizada por la Empresa Galvanotécnica.

8.3.2.2 Presupuesto de Inversión Inicial de Columna de Bioadsorción.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos del presupuesto de inversión desarrollado en las **Tabla 31** y **Tabla 32** se evidencia que los costos fueron evaluados para poder optimizar el desempeño de la alternativa de terciario propuesto usando las hojas de mazorca de maíz como adsorbente de iones de níquel, aunque cabe resaltar que para su proyección se tuvieron en cuenta factores como:

- El reemplazo de las mayas del molino de martillo debe ser de los tres años, también la garantía de un año para el gabinete desecador y destilador de agua, ya que posteriormente sería menor la inversión en vista de que no se utilizaría frecuentemente estos equipos lo cual aumentaría su tiempo de vida útil.
- Se requiere invertir en costos fijos mensuales de mantenimiento para el presente caso se puede tomar cada 2 meses siguiendo el mecanismo de tratamiento de la empresa Galvanotécnica siendo el reactivo químico, transporte, el servicio de luz y por último el del agua los ítems a tener en cuenta.
- Se aclara que el costo del proyecto de inversión debe ser asumido por los propietarios de la empresa Galvanotécnica. Ver **Tabla 31** y **Tabla 32**

Con relación al presupuesto inicial el proceso de bioadsorción de níquel usando las hojas de mazorca de maíz tiene un costo de \$ 10.770.116 ver **Tabla 31** y **Tabla 32** estos resultados hacen referencia a la rentabilidad de este material que debido a sus características y abundancia, también los pocos requerimientos que a su vez tendrán una vida útil extendida debido su bajo uso convierte a esta técnica en un fuerte candidato para ser un adsorbente de elementos contaminantes como metales pesados de níquel, a su vez los valores en la actualidad de la mazorca son menores que el costo de recolección, transporte y el procesamiento para un uso beneficioso. Lo anterior concuerda con lo que afirma Arunkumar *et al.*, (2014) en relación a que el uso de este residuo vegetal resulta ser un bajo costo de inversión.

Contrario a lo que sucede con el presupuesto inicial de las zeolitas y resinas este tratamiento terciario tiene un costo para la empresa Galvanotécnica de \$22.875.030 ver **Tabla 33** y **Tabla 34**. Esto último se debe a mayores costos de inversión necesaria en materiales directos como la resinas de intercambio catiónico. Este resultado concuerda con lo que afirma (Rochet, 2019) que las resinas de intercambio catiónico tiene la desventaja el alto precio de adsorbentes de este material. Debido a que la fábrica de estos productos está internacionalmente con compañías que monopolizan el mercado como Bayer entre otros. (Volesky & Naja, 2005). Lo anterior hace complejo el uso de estas tecnologías en industrias como la galvanotecnia como se observa en la empresa la cual se vio en la necesidad de traer este tipo de resinas desde Cuba.

8.3.3 *Discusión de Flujo de Caja de las dos Alternativas*

De acuerdo a los datos obtenidos de la proyección de flujo de caja calculada a 5 años de vida útil en la **Tabla 38** se evidencia que las dos alternativas presentan un flujo

variable y en relación a la alternativa 2 se observa que al año 3 aumenta en gran medida el valor debido a que se tuvo en cuenta según la ficha técnica de las resinas ya que su almacenamiento es de dos años lo cual hace necesario adquirir nuevo material. Este resultado concuerda con lo que afirma Carolin *et al.*, (2017) que el uso de este tipo de materiales para la remoción de elementos contaminantes como metales pesados aumenta el costo operativo.

Contrario a lo que sucede con la alternativa 1 de bioadsorción se observa en la **Tabla 38** que en el año 3 si bien se proyectó la compra de un nuevo desecador, este costo puede ser variable, debido a que no será usado con frecuencia este tipo de equipos, lo que aumentaría su vida útil teniendo en cuenta los periodos de operación de la empresa Galvanotécnica de cada dos meses, a su vez las mayas del molino por desgaste deberán ser cambiadas pero como se observa en **Tabla 39** con los indicadores de evaluación se puede evidenciar que al llevar a presente todos los flujos de caja durante la vida del proyecto se obtiene un VAN mayor en la alternativa de bioadsorción al igual que una mayor rentabilidad con un valor de \$ 23,6039, estos resultados evidencian lo que expone Arunkumar *et al.*, (2014) que las hojas de mazorca de maíz puede ser una alternativa potencial y económica para la remoción de metales pesados de níquel.

Cabe resaltar que resultado obtenido con la alternativa de las zeolitas-resinas es aceptable varia su costo en vista de que necesitan mayor uso de químicos para el acondicionamiento y activación que pudo haber influido en este valor.

Por otro lado los resultados obtenidos de TIR son equivalentes a lo que se muestran con la VAN ya que a un mayor de VAN permite interpretar una mayor tasa interna retorno indicando una viable rentabilidad siendo mayor en la alternativa de

bioadsorción con un 4,19 a su vez se evidencia que la implementación de esta produciría ganancia durante este periodo de tiempo, también el índice de costo beneficio se observa fue mayor en la alternativa 1 lo cual se relaciona con la reducción de costos y mejoramiento en la calidad del agua residual vertida por la empresa Galvanotécnica.

Por otro lado según Fu & Wang, (2011) la técnica de bioadsorción puede llegar a reducir los costos operacionales y totales comparado con otros tratamientos. Como se observó en la presente investigación, aunque se debe por el tipo de biomasa a utilizar como las hojas de mazorca de maíz siendo gratuita y de fácil obtención, también cabe resaltar según afirma Bonilla *et al.*, (2017) que se debe tener en cuenta que la viabilidad económica de un proceso de bioadsorción va a depender de la existencia de un medio de regeneración eficaz del bioadsorbente una vez agotada su capacidad de adsorción.

8.4 Análisis y Discusión del Estudio de Viabilidad Ambiental

Como se puede observar en la **Tabla 40** el tratamiento que presenta una mayor viabilidad de todos los componentes evaluados fue la bioadsorción con un 89,67% comparado con el de las zeolitas- resinas que arrojó un resultado inferior de 63,67%.

En relación al aspecto técnico **Tabla 40** en la subcategoría de recursos necesarios con el ítem de insumos y de acuerdo a la **Anexo 9** de los criterios, una de las características principales del proceso de bioadsorción que lo diferencia del tratamiento terciario que realiza la empresa Galvanotécnica con las zeolitas y resinas es que resulta demandante para la empresa Galvanotécnica realizar el proceso operativo por ende se le dio esta baja ponderación contrario a lo que sucede con la biomasa residual de maíz ya

que es de fácil manipulación y por ende contribuye a un mejor desempeño en el proceso operativo y como lo indica Tejada *et al.*, (2015) diversas investigaciones han evaluado este tipo de residuos y evidencian su eficiencia en la remoción de iones metálicos.

Esto puede coincidir con lo que afirma Muthusamy *et al.*, (2012) que materiales vegetales como la mazorca de maíz se pueden usar como removedores de metales pesados de aguas residuales y efluentes industriales para superar la contaminación del agua y a su vez permita obtener beneficios sociales, ambientales y económicos. Contrario a lo que sucede con las zeolitas y resinas que aunque solo una de ellas presente un mecanismo eficiente para la remoción de metales pesados como el níquel en la empresa Galvanotécnica su adquisición es bastante costosa a su vez su tratamiento de acondicionamiento y de activación es algo complejo y requiere varios ciclos.

A su vez el costo de adsorbente en las dos alternativas es bastante diferencial ya que las zeolitas resinas presentan con un alto costo resulta complejo su adquisición contrario a la alternativa de la bioadsorción con los residuos vegetales de mazorca de maíz que su adquisición es fácil y gratuita. Este resultado concuerda con lo que indica Kanamarlapudi *et a.*, (2018) en que estos residuos agrícolas ayudan a tener bajos costos de operación en procesos como la adsorción, debido a las características de estos residuos que dentro de sus componentes básicos presentan la lignina, hemicelulosa y celulosa los cuales contienen grupos funcionales que los convierten en materia prima para adsorbentes de metales con una alta capacidad de adsorción.

Por otro lado la eficiencia evaluada con la capacidad de adsorción en las dos alternativas evidencia que aunque se disminuya la concentración de níquel para la empresa Galvanotécnica es compleja su remoción, y en relación con la biomasa de

mazorca de maíz ha sido reportada en varias investigaciones en las cuales se evidencia que este residuo agrícola tiene un buen potencial como adsorbente para eliminar metales pesados tóxicos como el Níquel. (Muthusamy *et al.*, 2012). Esto concuerda con los resultados de la presente investigación en la cual el adsorbente vegetal aunque presentó saltos abruptos en la remoción de los iones metálicos de Níquel, se observa la resistencia y capacidad que tiene para captar este tipo de elementos contaminantes. Sin embargo se debe tener en cuenta un tratamiento previo para la disminución turbidez, SST y control del pH que ayuden a mejorar su eficiencia en el proceso de adsorción y por ende la calidad ambiental del vertimiento tratado.

Además los ítems evaluados en la subcategoría del desempeño del proceso en relación al pretratamiento como se observa **Tabla 40** las resinas de intercambio catiónico necesitan el acondicionamiento con en NaOH siendo un factor determinante para una mayor disponibilidad de sitios activos, contrario a los resultados expuestos con el bioadsorbente de mazorca de maíz en proceso discontinuo aplicando HCl al 20% no se observó diferencia significativa es por ello que como parte técnica de bioadsorción se propone realizar un tratamiento previo al agua residual óptimo que permita disminuir la turbidez y solidos suspendidos en este caso un filtro de arena, grava y gravilla con el fin a su vez aumentar la capacidad de adsorción del adsorbente .

Otro ítem importante es el postratamiento que en si es la regeneración del adsorbente, aunque para las zeolitas la empresa Galvanotécnica no realiza ningún tratamiento previo ni posterior, para las resinas de intercambio catiónico realiza un postratamiento con ácido nítrico y como la empresa afirma es bastante dispendioso su realización y el costo a su vez la generación de residuos no aprovechables es otra problemática evidenciada. **Tabla 40.**

Contrario a lo que sucede con el bioadsorbente de (*Zea mays L*) que si bien requiere un tratamiento posterior para su regeneración cuando este se encuentre completamente agotado dentro del proceso de bioadsorción pueden llegar a ser destinado a la producción de energía, ya que los residuos agrícolas en la actualidad tienen su aplicación como combustibles. (Molina, 2016). Generando un impacto positivo en el ámbito social y a su vez en la parte técnica y ambiental.

Esto permite evidenciar que la aplicación de una tecnología como la bioadsorción con estos mecanismos de acción permitiría mitigar el impacto al medio ambiente, ya que contribuiría a bajar la concentración de elementos contaminantes como el níquel que genera una alta afectación al recurso hídrico, debido a que se utilizan recursos de una manera sostenible como son los residuos agroindustriales que sea han venido utilizando como bioadsorbentes de iones metálicos en vertimientos industriales, a su vez manejar de una manera más adecuada los residuos.

La implementación de esta alternativa ambiental de bioadsorción de níquel con hojas de mazorcas de maíz propuesta en esta investigación, contribuiría reducir los efectos negativos que impactan la salud humana y el ambiente y ayudaría a el cumplimiento normativo en relación a los límites permisibles según la norma 0631 de 2015 y también al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS)

También diversos beneficios a nivel ambiental como disminución de elementos contaminantes que vierte la empresa Galvanotécnica a su vez que contribuiría a cumplir con el límite permisible normativo en relación al parámetro de remoción de concentración de níquel, a su vez aportaría a cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible en la

mejora de la calidad del agua. Este aporte concuerda con lo que indica Ardila, (2013) que los proyectos de tratamientos de aguas se encuentran enfocados a cumplir con el propósito de proteger el medio ambiente y mitigar los impactos al recurso hídrico.

Por otro lado la interacción de todos los aspectos técnicos, económicos y ambientales hace que se evidencie que aunque se necesitan ajustar ciertos parámetros antes del tratamiento terciario del agua residual con el bioadsorbente de hojas de maíz es un método no convencional sostenible que puede contribuir a una economía circular ya que siendo ya un residuo agroindustrial de fácil manejo operativo y de bajo costo que se puede utilizar para mitigar los impactos ambientales generados al recurso hídrico, el cual actualmente es considerado un material viable para ser utilizado en la bioadsorción de elementos contaminantes como el níquel teniendo en cuenta las mejores condiciones operacionales para su óptimo desempeño para que pueda ser utilizado en varios ciclos y llegado su etapa de retiro del proceso de bioadsorción el residuo puede llegar a ser reutilizado para la producción de energía.

Otro factor al que quizás puede contribuir el proceso de bioadsorción es la extracción y recuperación de los iones lo cual puede contribuir a mejorar las condiciones económicas y ambientales, aunque es un factor adicional su recuperación permitiría disminuir costos de operación y los impactos generados al agua y al humano.

CONCLUSIONES

La bioadsorción de níquel con hojas de Mazorca de Maíz fue de 0,275mg/L equivalente a un 78,68% siendo eficiente en el proceso.

La capacidad de adsorción de níquel que presenta el bioadsorbente de (*Zea mays* L) en proceso discontinuo no presenta diferencias con lavado de reactivo de HCl al 20% obteniendo una capacidad de adsorción de 0,109mg/L y sin reactivo de 0,096mg/L.

La máxima capacidad de adsorción calculada obtenida fue de 0,0189 mg g⁻¹ indicando que se hace necesario un mayor tiempo de contacto para su completa saturación.

En las muestras de agua residual los parámetros fisicoquímicos que disminuyeron con el material vegetal fueron: DQO, DBO, SST, turbidez.

El proceso de bioadsorción es una alternativa económica, teniendo un valor de \$10'770.116, contrario a lo que sucede con el tratamiento usado por la empresa

Galvanotécnica de zeolitas y resinas de intercambio catiónico presentan un alto costo de inversión de \$22'875.030.

El aprovechamiento una biomasa residual como las hojas de mazorca de maíz para la remoción de elementos contaminantes como el níquel puede ser una alternativa viable ambiental y económica ya que contribuya a mitigar impacto al medio ambiente y ayuda a la industria a disminuir costos de operación.

RECOMENDACIONES

Se recomienda para estudios posteriores implementar diseños experimentales en los cuales se seleccione el pH como variable de control para evaluar las mejores condiciones de pH para optimizar el desempeño del adsorbente.

Se recomienda realizar estudios cinéticos con isotermas con el fin de encontrar ecuaciones de Langmuir o Freundlich que permitan predecir la adsorción de Ni en función de la concentración.

Para futuras investigaciones de biosorción de níquel con hojas de mazorca de maíz sería valioso tener en cuenta otros reactivos como: NaOH, etanol en la regeneración del adsorbente.

Se recomienda utilizar otros reactivos diferentes al HCl como el ácido nítrico, o ácido cítrico para determinar la eficiencia del adsorbente en la remoción de níquel y su regeneración.

BIBLIOGRAFÍA

- ABC, D. (25 de Septiembre de 2018). <https://www.definicionabc.com/medio-ambiente/aguas-residuales.php>.
- Abdullah, N., Yusof, N., Lau, W., Jaafar, J., & Ismail, A. (2019). Recent trends of heavy metal removal from water/wastewater by membrane technologies. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 76, 17-38. doi:doi.org/10.1016/j.jiec.2019.03.029
- Acosta, D., Cristancho, E., Ospina, N., & Morales, N. (2009). *Identificación del Manejo de Metales en Vertimientos de la Industria Galvánica*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá. Obtenido de http://www.umng.edu.co/document/10162/745273/V1N1_8.pdf
- Ahmed, M., & Ahmaruzzaman, M. (2016). A review on potential usage of industrial waste material for binding heavy metal ions from aqueous solutions. *Journal of Water Process Engineering*(10), 39-47.
- Alcázar, F. A. (2014). *Extracción de Biosurfactantes a Partir de Agave lechuguilla y Agave tequilana y su Aplicación en el Tratamiento de Aguas Subterráneas de Origen Minero (Tesis Doctoral)*. Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional.
- Ale Borja, N., García, V. V., Yipmantin, O. A., Guzmán, L. E., & Maldonado, G. H. (2015). Estudio de la Cinética de Biosorción de Plomo (II) en Alga *Ascophyllum nodosum*. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 81(3), 212-223. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2015000300003

- Ali, H., & Khan, E. (2019). Trophic transfer, bioaccumulation, and biomagnification of non-essential hazardous heavy metals and metalloids in food chains/webs—Concepts and implications for wildlife and human health. *Human and Ecological Risk Assessment: An International*, 25(6). doi: DOI: 10.1080/10807039.2018.1469398
- Ali, S., Khalid, A., & Majid, R. (2014). The Removal of Zinc, Chromium and Nickel From Industrial Waste Water Using Corn Cobs. *Journal of Science*, 55(1), 123-231.
- Almazán, M. T., Almazán, A., Carreto, B. E., Hernández, E., Damián, A., & Almazán, R. (2016). Calidad y Clasificación de Usos del Agua en la Cuenca Baja del Río Papagayo. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 3(9), 293-305.
- Almendros, A. (2016). Biosorción de níquel con residuos vegetales. Valorización del bioadsorbente agotado mediante tratamientos termoquímicos (Tesis Doctoral). *Universidad de Granada. Facultad de Ciencias Departamento de Ingeniería Química*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10481/43538>
- Altamirano, M. (2015). *Remoción de Pb²⁺ por medio de adsorción de quitosano (Tesis de Pregrado)*. Universidad Veracruzana Facultad de ciencias químicas, Coatzacoalcos-México. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Montserrat_Altamirano/publication/309179618_Remocion_de_Pb_II_por_medio_de_adsorcion_en_quitosano/links/5803037a08ae1c5148cf37ce/Remocion-de-Pb-II-por-medio-de-adsorcion-en-quitosano.pdf
- Alvárez, M., & Carrasco, F. (2016). *Aplicaciones de adsorbentes y catalizadores en procesos medioambientales y energéticos*. Sevilla-España: Universidad Internacional de Andalucía.
- Alzate, A., Oquendo, A., & Muñoz, A. (2010). *Guía de Producción Más Limpia para el sector de recubrimientos electrolíticos en Colombia*. Centro Nacional de Producción Más Limpia. Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia.
- Amari, T., Ghnaya, T., & Abdelly, C. (2017). Nickel, Cadmium and Lead Phytotoxicity and Potential of Halophytic Plants in Heavy Metal Extraction. *South African Journal of Botany*, 111, 99-110. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254629916303805>
- Ambashta, R., & Sillanpää, M. (2010). Water Purification Using Magnetic Assistance: a Review. *Journal of Hazardous Materials*, 180(1-3), 38-49. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389410005510>
- Anastopoulos, I., & Kyzas, G. (2015). Progress in batch biosorption of heavy metals onto algae. *Journal of Molecular Liquids*, 209, 77-86. Obtenido de <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.05.023>
- Anirudhan, T. S., & Sreekumari, S. S. (2011). Adsorptive Removal of Heavy Metal ions From Industrial Effluents Using Activated Carbon Derived From Waste Coconut Buttons. *Journal of Environmental Sciences*, 23(12), 1989-1998.
- Arana, V. (2009). Guía para la toma de decisiones en la selección de sistemas de tratamiento de aguas residuales no convencional. *Foro de ciudades para la vía*.
- Arango, Á., Ballesteros, S., & Casas, G. (2007). *Diagnóstico y formulación del programa de producción mas limpia en la industria de Galvanotecnia en el*

- proceso de cromado*. Bogotá D.C: Universidad de la Sabana Facultad De Postgrados Especialización Ingeniería Ambiental.
- Árdila, E., & Zárate, A. (2009). *Evaluación a Nivel de Laboratorio de un Sistema de Fotocatálisis Heterogénea para el Tratamiento de Líquidos Fijadores Agotados de Radiología, Fotografía y Artes Gráficas; Subsiguiente al Proceso de Recuperación de la Plata por Electrólisis* (Tesis Pregrado). Universidad de la Salle.
- Ardila, M. (2013). *Viabilidad Técnica y Económica del Aprovechamiento de Aguas Grises Domésticas* (Tesis Maestría). Universidad Nacional de Colombia.
- Arunkumar, C., Perumal, R., Lakshmi, N., & Arunkumar, J. (2014). Use of Corn Cob as low Cost Adsorbent for the Removal of Nickel (II) from Aqueous Solution. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*, 5(3), 325-330.
- Babarinde, N., Babalola, J., & Sanni, R. (2006). Biosorption of lead ions from aqueous solution by maize leaf. *International Journal of Physical Sciences*, 1(1), 23-26. Obtenido de <https://academicjournals.org/journal/IJPS/article-full-text-pdf/793472210923>
- Baca, U. (2013). *Evaluación de Proyectos*. México D.F.
- Bansal, M., Singh, D., Garg, V. K., & Rose, P. (2009). Use of Agricultural Waste for the Removal of Nickel ions from Aqueous Solutions: Equilibrium and Kinetics Studies. *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, 3(3), 174-180. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Pawan_Rose/publication/285717686_Use_of_agricultural_waste_for_the_removal_of_nickel_ions_from_aqueous_solutions_Equilibrium_and_kinetics_studies/links/599b13cea6fdcc500349b2b0/Use-of-agricultural-waste-for-the-removal
- Barakat, M. (2011). New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian journal of chemistry*, 4(4), 361-377. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535210001334>
- Barreto, D., & Buitrago, B. (2018). *Conceptual Design of an Electroplating Line in the National Blender Company Naliet SAS* (Tesis Pregrado). Fundación Universidad de América.
- Bedoya, J., Ardila, A., & Reyes, J. (2014). Evaluación de un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial en el Tratamiento de las Aguas Residuales Generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. *Revista Internacional de Contaminación*, 30(3), 275-283. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992014000300004
- Berber, N. K., Netzahuati, A. R., Morales, L., Chávez, G. M., Flores, C. M., & Cristiani, E. (2018). Corn cob as an Effective, Eco-friendly, and Economic Biosorbent for Removing the azo dy Directo Yellow 27 from Aqueous Solutions. *Plos One*, 13(4). Obtenido de <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0196428>
- Bilal, M., Shah, J. A., Ashfaq, T., Gardazi, S. M., Tahir, A. A., Pervez, A., & Mahmood, Q. (2013). Waste Biomass Adsorbents for Copper Removal From Industrial Wastewater a Review. *Journal of Hazardous Materials*(263), 322-

333. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389413005505>
- Bonilla, P. A., Mendoza, C. D., & Reynel, Á. H. (2017). *Adsorption Processes for Water Treatment and Purification*. Cham (Switzerland): Springer.
- Caballeiro, P., Dockweiler, M., & Rojas, P. (2014). *Proyecto: NODO de Saneamiento Sostenible Descentralizado como Plataforma de Conocimiento y*. Obtenido de <https://www.aguatuya.org/docs/yRJIW4C5cF3BnUdJplsxuclj0fkLNBN.pdf>
- Candela, R. (2016). *Las microalgas y el tratamiento de aguas residuales: conceptos y aplicaciones. Una revisión bibliográfica*. Bucaramanga: UNAD.
- Cao, Y., Wang, K., Wang, X., Gu, Z., Ambrico, T., Gibbons, W., . . . Talukder, A. (2017). Preparation of Active Carbons From Corn Stalk for Butanol Vapor Adsorption. *Journal of Energy Chemistry*, 26(1), 35-41. Obtenido de <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/j.jechem.2016.08.009>
- Cárdenas, Y., Quispe, V., & Contreras, S. (2016). Biorremediación Mediante La Asociación Entre Microorganismos Y Plantas. *Revista De Investigación Científica Cultura Viva Amazónica*, 1(2), 20-27.
- Cardona, J. O. (2010). Análisis de Diversidad Genética de las Razas Colombianas de Maíz a Partir de Datos Roberts et al (1957) Usando la Estrategia Ward-MLM. *Journal de Ciencia y Tecnología Agraria*, 2(1), 199-207.
- Carmenaty, D., Pompa, N., Reyes, A., & Aguilar, R. (2009). Caracterización Físico-Química de Las Aguas Residuales De La Planta Galvánica, Empresa Conformadora "30 DE NOVIEMBRE". *Revista Cubana de Química*, 21(2), 22-28. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543717004.pdf>
- Carolin, F., Kumar, S., Saravanan, A., Joshiba, J., & Naushad, M. (2017). Efficient techniques for the removal of toxic heavy metals from aquatic environment: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(3), 2782-2799.
- Carpio, T. (2007). *Turbiedad por Nefelometría (Método B)*. IDEAM .
- Carvalho, L., Mackay, E., Cardoso, A. M., Pedersen, A., Birk, S., & ...& Globevnik. (2019). Protecting and restoring europe's waters: an analysis of the future development needs of the water framework directive. *Science of the Total Environment*, 1228-1238. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971835126X>
- Casamayor, J. (2018). *Influencia de la velocidad de agitación y la concentración de cobre (ii) impregnado en carbon activado de persea americana en la remoción de nitritos en soluciones acuosas (Tesis de pregrado)*. Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Trujillo-Perú. Recuperado el 11 de Enero de 2019, de http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/24975/casamayor_vj.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Castro, E., Ramirez, Y., & Ojeda, K. (2018). Evaluation of the biogas productivity potential of maize waste using ruminal fluid and pig manure. *Contemporary Engineering Sciences*, 11(8), 307-315. Recuperado el 15 de marzo de 2019, de <http://www.m-hikari.com/ces/ces2018/ces5-8-2018/p/ojedaCES5-8-2018.pdf>
- Castro, S., Cerda, R., Betanco, N., Canelo, F., López, X., García, A., & Benavente, M. (2013). Estudio del Equilibrio y Cinética de Adsorción de Cd (II), Ni (II) y

- Cr (VI) Usando Quitosano y Quitosano Modificado con Cobre. *Nexo Revista Científica*, 26(2), 56-68. Obtenido de <http://revistas.uni.edu.ni/index.php/nexo/article/view/93>
- Catálogo de Plantas y Líquenes de Colombia. (2019). Obtenido de <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co/es/>
- Causil, R., & Guzmán, V. (2016). *Caracterización de las Fibras de Capacho de Maíz (Zea mays) como Material de Refuerzo Alternativo para el Concreto Mediante Ensayos Mecánicos (Tesis Pregado)*. Universidad de Cordoba Facultad de Ingeniería, Montería-Cordoba.
- Caviedes, D., Muñoz, R., Perdomo, A., Rodríguez, D., & Sandoval, J. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *Ingeniería y Región*(13), 73-90. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5432290>
- CEPAL, N. (2018). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*.
- Chain, S. (2011). *Proyectos de Inversión: Formulación y Evaluación*. Santiago de Chile: Pearson.
- Choque, M. (2017). *Remoción de Iones de Cadmio (II), Plomo (II) y Níquel (II) de Lodos Sedimentados en la Bahía Interior de Puno-Lago Titicaca Utilizando Bioadsorbente Acuoso de la Semilla de Tarwi (Lupinus mutabilis)*. (Tesis Doctorado). Universidad Nacional Altiplano, Programa Doctorado en Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, Puno-Perú. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6209/EPG878-00878-01.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chuquilín, C., & Rosales, D. (2016). Estudio de la Biosorción de Cd (II) y Pb (II) Usando Como Adsorbente Nostoc sphaericum Vaucher. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 82(1), 49-60.
- CNPMLTA), Centro Nacional de Producción más Limpia y Tecnologías Ambientales. (2001). *Guía de producción más limpia para el sector de recubrimientos electrolíticos en Colombia*. Bolívar. Recuperado el 12 de Enero de 2019, de [https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2012/09/guias-de-buenas-prc3a1cticas-ambientales-para-recubrimientos-electrolc3adticos.pdf](https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2012/09/guias-de-buenas-practicas-ambientales-para-recubrimientos-electroliticos.pdf)
- Coman, V., Robotin, B., & Llea, P. (2013). Nickel Recovery/Removal From Industrial Wastes: a Review. *Resources Conservation and Recycling*, 73, 229-238. Obtenido de <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.01.019>
- CONPES 1750 . (1995). *Documento CONPES 1750 de 1995: Políticas de Manejo de las Aguas*.
- Covarrubias, S., & Peña, J. (2017). Contaminación Ambiental Por Metales Pesados En México: Problemática Y Estrategias De Fitorremediación. *Revista internacional de Contaminación Ambiental*, 7-21.
- Dai, Y., Sun, Q., Wang, W., Lu, L., Liu, M., Li, J., & Zheng, W. (2018). Utilizations of Agricultural Waste as Adsorbent for the Removal of Contaminants: a Review. *Chemosphere*, 211, 235-253.
- Dávila, B., & Bayona, N. (2018). *Diagnóstico del tratamiento del efluente de una empresa de galvanoplastia*. Tesis de Maestría, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá.

- De Gisi, S., Lofrano, G., Grassi, M., & Notarnicola, M. (septiembre de 2016). Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: A review. *Sustainable Materials and Technologies*, 9, 10-40. doi:doi.org/10.1016/j.susmat.2016.06.002
- De la Jara, A., Assunção, P., Portillo, E., Freijanes, K., & Mendoza, H. (2016). Evolution of Microalgal Biotechnology a Survey of the European Patent Office Database. *Journal of Applied Phycology*, 28(5), 2727-2740.
- Deborah. (28 de Marzo de 2015). *Definición de Sustentabilidad*. Recuperado el 14 de Enero de 2019, de Definición.co: <https://www.definicion.co/sustentabilidad/>
- Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez, J., & Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>
- Dermentzis, K. (2010). Removal of nickel from electroplating rinse waters using electrostatic shielding electro dialysis/electrodeionization. *Journal of hazardous materials*, 173(1-3), 647-652. Obtenido de <https://scihub.tw/https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.08.133>
- Dhokpande, S. R., Kaware, J. P., & Kulkarni, S. J. (12 de diciembre de 2013). Research for removal of nickel from waste water a review. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*, 2(12), 2162-2166. Recuperado el 15 de diciembre de 2018, de <http://ijsetr.org/wp-content/uploads/2013/12/IJSETR-VOL-2-ISSUE-12-2162-2166.pdf>
- Díaz, A., Guilarte, A., Chaviano, A., & Pérez, R. (2017). Bioadsorción de níquel en residuales de Empresa Minera por biomasa de *Phyllanthus Orbicularis*. *Tecnología Química*, 37(1), 51-66. Recuperado el 15 de marzo de 2019, de <https://pdfs.semanticscholar.org/e7be/cc835f3a6328fc014e2efb2a5e68c47749a4.pdf>
- Díaz, M. (2018). *Ecuaciones y Cálculos para el Tratamiento de Aguas*. Paraninfo. S.A.
- Durán, L. (2016). Evaluación de la Calidad de Agua de Ríos de Colombia Usando Parámetros Físicoquímicos y Biológicos. *Dinámica Ambiental*(1), 83-102.
- Duruibe, J., Ogwuegbu, J., Ogwuegbu, M., & Ekwurugwu, J. (2007). Heavy Metal Pollution and Human Biotoxic Effects . *International Journal of Physical Sciences*, 2(5), 112-118. Obtenido de <https://academicjournals.org/journal/IJPS/article-abstract/59CA35213127>
- Escobar, F., & Ocampo, F. (2017). *Estudio de la viabilidad técnico económica para la implementación de un sistema de tratamiento de las aguas residuales domésticas en cotecmal sede mamonal (Tesis maestría)*. Universidad del Norte Departamento de Ingeniería Industrial, Barranquilla. Obtenido de <http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/7744/federica.pdf?sequence=1>
- Espinosa, S., & Mera, G. (2015). *Alternativas Ambientales para la Remoción de Cromo Hexavalente en Residuos Líquidos de los Laboratorios Especializados de la Universidad de Nariño (Tesis Maestría)*. Universidad de Manizales.
- Es-sahbany, H., Berradi, M., Nkhili, S., Hsissou, R., Allaoui, M., Loutfi, M., & El Youbi, M. S. (2019). Removal of Heavy Metals (Nickel) Contained in

- Wasterwater-Models by the Adsorption Technique on Natural clay. *Materials Today: Proceedings*, 13, 866-875. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478531930642X>
- Evans, J., Sumbly, C., & Doonan, C. (2015). Synthesis and Applications of Porous Organic Cages. *Chemistry Letters*, 44(5), 582-588. Obtenido de <https://www.journal.csj.jp/doi/abs/10.1246/cl.150021>
- Farooq, U., Kozinski, J. A., Khan, M. A., & Athar, M. (2010). Biosorption of Heavy Metal Ions Using wheat Based Biosorbents-a Review of the Recent Literature. *Bioresource tecnology*, 101(14), 5043-5053. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852410003019>
- Fernández, F. (2011). *Sistema de Adsorción Análisis de los Sistemas de Refrigeración Solar por Adsorción*. Escuela Técnico Superior de Ingenieros. Departamento de Ingeniería Energética. Universidad de Sevilla.
- Figueira, M., Volesky, B., Ciminelli, V., & Roddick, F. (2000). Biosorption of Metals in Brown Seaweed Biomass. *Water Research*, 34(1), 196-204. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135499001207>
- Figueroa, D., Moreno, A., & Hormaza, A. (2015). Equilibrio, Termodinámica y Modelos Cinéticos en la Adsorción de Rojo 40 Sobre Tuza de Maíz. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 14(26), 105-120.
- Fonseca, R. A., Giraldo, L., & Moreno, J. C. (2014). Estudio Cinético de la Adsorción de Ni²⁺ desde Solución Acuosa Sobre Carbones Activados Obtenidos de Residuos de Tuza de Maíz (*Zea mays*). *Afinidad*, 71.
- Franco, J., & Cárcamo, J. (2017). Evaluación de la eficiencia de un reactor de Electrocoagulación a escala Piloto para la Remoción de Algunos Parámetros Físicoquímicos Y Microbiológicos Presentes en las Aguas Residuales (Tesis pregado). *Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña*. Obtenido de <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/1637/1/30542.pdf>
- Frason, M. (1992). *Métodos Normalizados: Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales*. American Water Works Association (Denver) Water Pollution control Federation (Washington) American Public Health Association (Washington).
- Fu, F., & Wang, Q. (Marzo de 2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of environmental management*, 92(3), 407-418. Recuperado el 12 de Enero de 2019, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479710004147>
- Galvis. (2010). Modelo Conceptual de Selección de Tecnología Para Control de Contaminación por aguas residuales domésticas en localidades colombianas menores de 30,000 habitantes. *SELTAR. Conferencia Internacional: De la acción local a las metas globales*.
- García, G., & Colín, A. (2010). Biosorption of Lead by Maize (*Zea mays*) Stalk Sponge. *Journal of Enviromental Management*, 91(11), 2079-2086.
- Garcia, N., Villanueva, P., Campos, E., & Velázquez, A. (2012). Análisis de la adsorción como método de pulimiento en el tratamiento de aguas residuales. *Quivera*, 14(1), 109-129. Recuperado el 14 de Enero de 2019, de <https://quivera.uaemex.mx/article/view/10455/8539>

- GEON Evolución Sustentable. (2013). Como Madurar La Sustentabilidad Corporativa. *GEON Evolución Sustentable*.
- Goertzen, S., Thériault, K., Oickle, A., Tarasuk, A., & Andreas, H. (2010). Standardization of the Boehm Titration. Part I CO₂ Expulsion and Endpoint Determination. *Carbón*, 48(4), 1252-1261.
- Gómez V et.al. (2013). "Lignina como adsorbente de metales pesados:Revisión del estado del arte". *Rev. Investig Apl*, 7(2), 74-85.
- Gómez, R., Gutiérrez, J., La Rotta, M., & Rodríguez, J. (2018). Evaluación de la Capacidad de Bioadsorción de Plomo (II) Presente en Afluentes Sintéticos, Utilizando Bioadsorbentes de Origen Vegetal. *Publicaciones e Investigación*, 12(1), 101-111.
- González, A., Pokrovsky, O., Santana, M., & González, M. (2017). Bioadsorption of Heavy Metals. En B. Tripathi, & D. Kumar, *Prospects and Challenges in Algal Biotechnology*. (págs. 233-255). Singapur: Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-981-10-1950-0_8
- González, M., Carrillo, R., Sánchez, A., & Ruiz, A. (2017). Alternativas De Fitorremediación De Sitios Contaminados Con Elementos Potencialmente Tóxicos. Source: Agroproductividad. 10(4), 8-14.
- González, M., Orozco, C., Pérez, A., Alfayate, J., & Rodríguez, F. (2004). Contaminación ambiental: Una Revisión desde la Química.
- González, S., & Vallejo, J. (2017). *Estudio de viabilidad técnica, ambiental y económica para la implementación del proyecto de reconversión tecnológica del sistema convencional de iluminación pública a sistema fotovoltaico y luz led, en el municipio de Guatavita Cundinamarca*(Tesis pregrado. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Bogotá.
- Gupta, V., Rastogi, A., & Nayak, A. (2010). Biosorption of Nickel Onto Treated Alga (Oedogonium hatei): Application of Isotherm and Kinetic Models. *Journal of Colloid and Interface Science*, 342(2), 533-539.
- Herrera, H. (2019). "Estudio cinético de la lixiviación del cobre a partir de la malaquita mediante soluciones diluidas de ácido cítrico" (Tesis Doctoral). *Universidad de San Agustín de Arequipa. Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de Procesos*. Obtenido de <http://bibliotecas.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/8925/UPDhecoh2.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Horsfall, J. M., & Spiff, A. I. (2004). Studies on the Effect of pH on the Sorption of Pb²⁺ and Cd²⁺ ions From Aqueous Solutions by Caladium by Bicolor (Wild Cocoyam) biomass. *Electronic Journal of Biotechnology*, 7(3), 14-15. Obtenido de https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0717-34582004000300014&script=sci_arttext&lng=en
- Hossain, M., Ngo, H., Guo, W., Nguyen, T., & Vigneswaran, S. (2014). Performance of Cabbage and Cauliflower Wastes for Heavy Metals Removal. *Desalination and Water Treatment*, 52(4-6), 844-860.
- Hua, R., & Liz, Z. (2014). Sulfhydryl functionalized hydrogel with magnetism: Synthesis, characterization, and adsorption behavior study for heavy metal removal. *Chemical Engineering Journal*, 249, 189-200.

- IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2007). Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días, Incubación y Electrometría. En M. Navarro, & M. Gaitán.
- IDEAM, IavH, Invepar, SINCHI e IIAP. (2011). *Tomo 3: Contaminación del aire y agua en Colombia e impactos sobre la salud. Informe del Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables*. Bogotá, D. C.,.
- Investigaciones Económicas – Grupo Bancolombia. (2019). *Proyecciones Económicas a Mediano plazo*. Obtenido de <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/capital-inteligente/investigaciones-economicas/publicaciones/tablas-macroeconomicos-proyectados>
- Islam, A., Awual, R., & Angove, M. J. (2019). A Review on Nickel (II) Adsorption in Single and Binary Component Systems and Future Path. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(5), 1-17. Obtenido de <https://scihub.tw/https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103305>
- Ismail, I., Fawzy, A., Abdel-Monem, N., Mahmoud, M., & El-Halwany, M. (2012). Combined coagulation flocculation pre treatment unit for municipal wastewater. *Journal of Advanced Research*, 3(4), 331-336.
- ITIS, I. (2019). Obtenido de <https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt>
- ITS, I. (2019). Obtenido de <https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt>
- Iza, Z. M. (2019). *Eficiencia del biofiltro a base de los residuos del cultivo de maíz (Zea mays) y cacao (Theobroma cacao) para remoción de sólidos en agua (Tesis de pregrado)*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí de Manuel Félix López, Calceta. Obtenido de <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1199/1/TTMA66.pdf>
- Johnson, P. D., Watson, M. A., Brown, J., & Jefcoat, I. A. (2002). Peanut hull Pellets as a Single use Sorbent for the Capture of Cu (II) from Wastewater. *Waste management*, 22(5), 471-480. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X01000368>
- Joseph, L., Jun, B. M., Flora, J., Park, C., & Yoon, Y. (agosto de 2019). Removal of heavy metals from water sources in the developing world using low-cost materials: A review. *Chemosphere*, 229, 142-159. doi:doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.04.198
- Kanamarlapudi, S. L., Chintalpudi, V. K., & Muddada, S. (2018). Application of Biosorption for Removal of Heavy Metals From Wastewater. En D. Jan, & V. Branislav. InterchOpen.
- Kobieslska, P., Howarth, A., Farha, O., & Nayak, S. (marzo de 2018). Metal–organic frameworks for heavy metal removal from water. *Coordination Chemistry Reviews*, 358, 92-107. doi:doi.org/10.1016/j.ccr.2017.12.010
- Król, M. (2019). Hydrothermal Synthesis of Zeolite Aggregate with Potential use as a Sorbent of Heavy Metal Cations. *Journal of Molecular Structure*, 1183, 353-359. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022286019301358>
- Kumar, K. S., Dahms, H. U., Won, E.-J., Lee, J. S., & Shin, K.-H. (2015). Microalgae – A promising tool for heavy metal remediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 113, 329-352. doi:doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.12.019

- Kumar, V., Parihar, R. D., Sharma, A., Bakshi, P., Sidhu, G. P., Bali, A. S., & Rodrigo, J. (2019). Global evaluation of heavy metal content in surface water bodies: A meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analyses. *Chemosphere*, 236, 1-14. doi:doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124364
- Lee, C.-G., Song, M.-K., Ryu, J.-C., Park, C., Choi, J.-W., & Lee, S.-H. (2016). Application of carbon foam for heavy metal removal from industrial plating wastewater and toxicity evaluation of the adsorbent. *Chemosphere*, 153, 1-9. doi:https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.03.034
- Lenntech . (2018). *Propiedades químicas del Cobre - Efectos del Cobre sobre la salud - Efectos ambientales del Cobre*. Obtenido de Lenntech: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cu.htm#ixzz5Fyv44b5c>
- Leon, H. D. (2017). *Bioadsorción de Mercurio (II) en Aguas Residuales Generados por el Centro Minero Informal de Lunar de Oro, Ubicado en el Distrito de Ananea con Biomasa de Waraqo (Echinópsis maximiliana) (Tesis de Pregado*. Universidad Nacional Altiplano, Puno-Perú. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/6167/Leon_Hancco_Delfin.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Liu, L., Luo, X.-B., Ding, L., & Luo, S. (2019). Application of nanotechnology in the removal of heavy metal from water. En X. Luo, & F. Deng, *Nanomaterials for the removal of pollutants and resource reutilization* (págs. 83-147). China: Elsevier. doi:doi.org/10.1016/B978-0-12-814837-2.00004-4
- Llanes, P. A., Uguarte, M., Oquendo, H., González , E., & Pérez, A. (2009). Estrategia para la generación de alternativas de producciones más limpias en un sistema de tratamiento de aguas residuales galvánicas. *Tecnología Química*, 29(2), 54-60. Recuperado el 17 de abril de 2019
- Lombana, M., & Saavedra, D. (2018). *Obtención de Metales a Partir de Lodos Peligrosos de la Industria Galvánica (Tesis Pregado)*. Fundación Universidad de América.
- Londoño, L. F., Londoño, P. T., & Muñoz, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153. Recuperado el 27 de Marzo de 2019, de [http://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](http://dx.doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153).
- López H Montenegro O Lievano L. (2014). *ABC de la Biodiversidad*. (F. d. Universidad Nacional de Colombia, Ed.) Bogotá: Jardín Botánico José Celestino Mutis.
- López, G. M. (2013). Estudio fisicoquímico del proceso de reducción-adsorción de Cr (VI) en medio acuoso sobre biomateriales de bajo coste (Tesis Doctoral). *Universidad de la Coruña*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/61906238.pdf>
- López, K., & Vargas, V. (2018). Evaluación de la Eficiencia de Remoción de Ag+, Ni(II) Y Cu(II) de Aguas Residuales del Sector Galvánico Mediante Electrocoagulación. Estudio de Caso de la Empresa Soluciones Metálicas y Derivado S.A.S (Tesis pregado). *Universidad El Bosque, Facultad de Ingeniería*.
- Losada , L., Bonilla, N., Buitrago, R., Bonilla, J., & Salamanca, M. (2015). Estudio Preliminar de la Capacidad de Remoción de Iones Inorgánicos de una Zeolita

- Sintética tipo Faujasita. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 114-123. Obtenido de <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/1300/1357>
- MADS, M. (2010). Procesos Sancionatorios de Vertimientos.
- Malik, D. S., Jain, C. K., & Yadav, A. K. (2017). Removal of Heavy Metals From Emerging Cellulosic Low-Cost Adsorbents: a Review. *Applied Water Science*, 7(5), 2113-2136. Obtenido de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s13201-016-0401-8.pdf>
- Malkoc, E., & Nuhoglu, Y. (2007). Potential of tea Factory Waste for Chromium (VI) Removal from Aqueous Solutions: Thermodynamic and Kinetic studies. *Separation and Purification Technology*, 54(3), 291-298.
- Manríquez, F. (2016). *Estudio de factibilidad técnico y económico-social de la construcción de un molo de abrigo en la ciudad de Achao, comuna Quinchao*. Universidad Austral de Chile Escuela de Ingeniería Civil Industrial, Tesis Pregado, Chile. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2016/bpmfcio.39e/doc/bpmfcio.39e.pdf>
- Margalef, R. (1972). Homage to Evelyn Hutchinson, or why is there an upper limit to diversity? *Trans. Connect Acad. Arts.*(44), 211-235.
- Medellín, N., Hernández, M., Salazar, J., Labrada, G., & Aragón, A. (2017). Bioadsorción De Plomo (Pb) Presente En Solución Acuosa Sobre Residuos De Fibras Naturales Procedentes De La Industria Ixtlera (Agave lechuguilla Torr. y Yucca carnerosana. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(2), 269-280.
- Mendoza, D., Salazar, K., & Bravo, L. (2016). *Fitorremediación acuática con Myriophyllum aquaticum para el tratamiento de efluentes generados por pasivos ambientales mineros de Hualgayoc - Cajamarca*. Callao: Universidad Nacional del Callao.
- Mera, J., Espinosa, G., & Murillo, W. (2018). Remoción de Cr (VI) en residuos líquidos de laboratorios de servicios analíticos por fotocatalisis heterogénea y bioadsorción. *Revista Producción + Limpia*, 13(1), 30-42. Recuperado el 15 de marzo de 2019, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552018000100030&script=sci_abstract&tlng=pt
- MIDEPLAN. (2013). *Metodología General*.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible. (s.f.). *Resolución 0631 de 2015 por lo cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a los sistemas de alcantarillados público y se dictan las disposiciones*. Bogotá.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Bogotá.
- Ministerio de Desarrollo Económico. (s.f.). *Resolución 1096 de 2000 por la cual se Adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico -RAS*.
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (21 de julio de 2009). *Ley 1333 de 2009. Por lo cual se establece el Procedimiento Sancionatorio Ambiental, Registro Único de Infractores Ambientales*.

- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. (Diciembre de 2012). *Diagnóstico Nacional de Salud Ambiental*. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/INEC/IGUB/Diagnostico%20de%20salud%20Ambiental%20compilado.pdf>
- Miranda, O. G., Díaz, G. C., & Leal, A. E. (2018). Amorphous silica waste from a geothermal central as an adsorption agent of heavy metal ions for the regeneration of industrial pretreated wastewater. *Water Resources and Industry*, 15-22. Obtenido de <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201900254011>
- Mishra, M., & Mohan, D. (2017). Bioremediation of Contaminated Soils: An Overview. In: Rakshit A., Abhilash P., Singh H., Ghosh S. (eds) *Adaptive Soil Management : From Theory to Practices*. Springer, Singapore.
- Molina, A. I. (2016). *Biosorción de Níquel con Residuos Vegetales. Valorización del Biosorbente Agotado Mediante Tratamientos Termoquímicos (Tesis Doctoral)*. Universidad de Granada.
- Moya, F. (2013). *Evaluación y alternativas de tratamiento de la planta de residuales del taller galvánico de la EMI "Ernesto Che Guevara (Tesis Doctoral)*. Universidad Central" Marta Abreu. Obtenido de <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/2164/TesisFranly.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Muñoz, G. M., Díaz-Criollo, S., & Martínez-Duran, M. (31 de enero de 2017). Perfil epidemiológico de las intoxicaciones por sustancias químicas en Colombia, 2008-2015. *Informe Quincenal Epidemiológico Nacional (IQEN)*, 22(2), 26-48. Recuperado el 21 de diciembre de 2018, de <https://www.ins.gov.co/buscador-eventos/IQEN/IQEN%20vol%2022%202017%20num%202.pdf>
- Murillo, B. A. (2016). *Propuesta de Tratamiento para el Agua Residual Industrial Generada por Procesos de Cromado Mediante Electrocoagulación (Tesis Pregado)*. Fundación Universidad de América.
- Muthusamy, P., Murunga, S., & Manothi, S. (2012). Removal of Nickel ion from Industrial Waster Water Using Maize Cobs. *International Research Journal of Biological Sciences*, 1(2), 7-11. Obtenido de <http://www.isca.in/IJBS/Archive/v1/i2/2.ISCA-JBS-2012-018%20Done.pdf>
- Narvaez, M., & Villota, L. (2018). *Caracterización Físicoquímica de la Borra de Café Proveniente de la Hacienda Supracafé en el Municipio de Cajibío, Departamento del Cauca. (Tesis Pregado)*. Facultad Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Corporación Universitaria Autónoma de Cauca, Cauca-Colombia.
- Nickel Institute. (2014). *First use of Nickel*. Obtenido de <https://www.nickelinstitute.org/about-nickel#01-nickel-properties>
- Nickel Institute. (2014). *First use of Nickel*. Obtenido de <https://www.nickelinstitute.org/about-nickel#04-first-use-nickel>
- Nickel Institute. (2014). *Nickel Compounds the Inside Story*. Obtenido de http://nickel-japan.com/magazine/pdf/NickelStory_EN.pdf
- Nickel Institute. (2015). *Nickel Compounds the Inside Story*. Obtenido de http://nickel-japan.com/magazine/pdf/NickelStory_EN.pdf

- Noor, S. M., Ahmad, N., Khattak, M. A., Khan, M. S., Mukhtar, A., Kazi, S., & Khan, R. (2017). Application of Sayong ball clay Membrane Filtration for Ni (II) Removal from Industrial Wastewater. *Journal of Taibah University for Science*, 11(6), 949-954. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1016/j.jtusci.2016.11.005?needAccess=true>
- Norma Mexicana . (2013). *Análisis de Agua-Determinación de Sólidos Sedimentables en Aguas Naturales. Residuales y Residuales Tratadas*. México.
- Orarbo Observatorio Regional Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Rio Bogotá. (2017). *Vertimientos de Agua Residual Identificados en la Cuenca del Rio Bogotá (VARRB)*. Obtenido de <https://orarbo.gov.co/es/indicadores?id=1364&v=1>
- Osorio, P., & Peña, D. (2002). Determinación de la relación DQO/DBO5 en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región.
- Pehlivan, E., Altun, T., Cetin, S., & Bhangar, M. I. (2009). Lead Sorption by Waste Biomass of Hazelnut and Almond Shell. *Journal of Hazardous Materials*, 167(1-3), 1203-1208. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389409001617>
- Penedo, M., Manals, E., Vendrell, F., & Salas, D. (2015). Adsorción de níquel y cobalto sobre carbón activado de cascarón de coco. *Tecnología Química*, 35(1), 110-124. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2224-61852015000100010&script=sci_arttext&tlng=en
- Perenguez, B., & Valdez, C. (2017). *Análisis de remoción de cadmio por acción de la microalga Chlorella sp. inmovilizada en perlas de alginato*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Pérez, G., Arriola, J., García, T., Saldaña, M., & Mendoza, J. (2016). Evaluación de la Calidad del Agua de Cuatro Jagüeyes del Parque Estatal "Flor del Bosque". *Ra Ximhai*, 12(4), 153-168.
- Pino, G. H., de Mesquita, L. M., Torem, M. L., & Pinto, G. A. (2006). Biosorption of Cadmium by Green Cocut Shell Powder. *Minerals engineering*, 19(5), 380-387. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0892687505004279>
- Poonkothai, M., & Vijayavathi, B. (2015). Physicochemical Characterisation of Nickel Electroplating Effluent Before and After Treatment Dead *Aspergillus niger*. *International Research Journal of Pharmaceutical and Biosciences*, 2(6), 1-13. Obtenido de <http://www.irjpbs.com/volumes/Vol2/issue6/IRJPBS-2601.pdf>
- Prado , M., Anzaldo, J., Becerra, B., Palacios, H., Vargas, J., & Renteria, M. (2012). Caracterización de Hojas de Mazorca de Maíz y de Bagazo de Caña para la Elaboración de una Pulpa Celulósica Mixta. *Madera y bosques*, 18(3), 37-51.
- Presidencia de la República de Colombia . (s.f.). *Decreto 2811 " Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente"*.

- Presidencia de la República de Colombia 18 de diciembre de 1974. (s.f.). *Decreto 2811 "Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente"*.
- Prueitt, R. L., & Goodman, J. E. (2015). Nickel. En R. Harbison, M. Bourgeois, & G. Johnson, *Hamilton and hardy's Industrial Toxicology* (págs. 173-182). John Wiley & Sons.
- Puig, J., Bager, M., & Casas, J. (2017). El impacto ambiental: un despertar ético valioso para la educación. *Interuniversitaria*, 29(1). doi:DOI: <http://dx.doi.org/10.14201/teoredu2017291101128>
- Qin, H., Hu, T., Zhai, Y., Lu, N., & Aliyeva, J. (2019). The Improved Methods of Heavy Metals Removal by Biosorbents: a Review. *Enviromental Pollution*.
- Quintero, L. F., & Virguez, I. L. (2017). Diagnóstico de Peligros en los Procesos Químicos de la Empresa de Galvanoplastía "Nicrozinc Ltda", con Base en la Norma GTC-45 Para Establecer Protocolos de Seguridad y Emergencia (Tesis posgrado). *Universidad Francisco José de Caldas. Facultad de Ingeniería*.
- Quintero, L., & Virguez, I. (2017). Diagnóstico de Peligros en los Procesos Químicos de la Empresa Galvanoplastia Nicrozinc Ltda con Base en la Norma GTC - 45 para Establecer Protocolos de Seguridad y Emergencia.
- Quispe, R., Belizario, G., Chui, H., Huaquisto, S., Calatayud, A., & Yábar, P. (2019). Concentracion de Metales Pesados:Cromo,Cadmio,Plomo en los Sedimentos Superficiales en el Rio Coata,Perú. *Revista Bolivariana de Química*, 36(2), 83-90. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602019000200003&script=sci_abstract&tlng=en
- Ramírez, H., & Jaramillo, J. (2015). Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua. *Revista Facultad de Ciencia Básicas. Universidad Militar Nueva Granada*. Obtenido de <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/1303/1359>
- Ramos, Y., & Salas, K. (2015). *Evaluacion de Metales Pesados en Aguas Superficiales en el Area de Influencia al Emisario Submarino en el Corregimiento de Punta Canoas Departamento de Bolívar (Tesis de pregrado)*. Universidad San buenaventura Seccional Cartagena Programa de Ingeniería Química, Bolívar, Cartagena. Recuperado el 14 de Enero de 2019, de http://bibliotecadigital.usbcali.edu.co/bitstream/10819/2844/1/Evaluaci%C3%B3n%20metales%20pesados_Castillo_2015.pdf
- Ranade, V., & Bhandari, V. (2014). *Industrial Wastewater Treatment Recycling and Reuse*. Butterworth-Heinemann.
- Raval, N. P., & Shah, N. K. (2016). Adsorptive Removal of Nickel (II) Ions From Aqueous Enviroment: a Review. *Journal of Enviromental Management*, 179, 1-20. Obtenido de <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.04.045>
- Restrepo, L. F. (2011). *Estudio de la Viabilidad Técnica y Financiera del Proyecto de Compra y Operación de un Sistema de Distrito frío en la Plaza Mayor medellín bajo las mismas o mejores condiciones del actual proveedor (Tesis pregado)*. Universidad de Medellín, Medellín.

- Reyes, M., Alicia, A., Dora, A., Alfonso, G., Laura, G., & Elisa del Carmen, V. (2012). Metales Pesados: Importancia y Análisis. *Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional*.
- Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz, L. M., & González, E. E. (2016). Contaminación por Metales Pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66-77.
- Robledo, V., Velázquez, M., Montañez, J., Pimentel, J., Vallejo, A., López, M., & Venegas, J. (2017). Hidroquímica y contaminantes emergentes en aguas residuales urbano industriales de Morelia, Michoacán, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33(2), 221-235. doi:dx.doi.org/10.20937/rica.2017.33.02.04
- Rochet, Y. (2019). Recuperación de Níquel a Partir de Residuales Líquidos del Proceso Carbonato-Amónico. *Infomin*, 8(2), 47-60.
- Rodero, J. (6 de Junio de 2013). *Generalidades de la industria de la galvanotecnia*. Recuperado el 13 de Enero de 2019, de Galvanotecnia y contaminación ambiental. Impacto de la Galvanotecnia: <http://galvanoambiente.obolog.es/generalidades-industria-galvanotecnia-2276539>
- Rodríguez, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S., & Sanz, J. (2006). Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales. *Informe de Vigilancia Tecnológica*, 63-94.
- Rodríguez, M. (2015). *Mejora de proceso y control de calidad de una empresa de Galvanoplastia (Tesis de Maestría)*. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería, México D.F.
- Rodríguez, R., Londoño, J., Garzón, E., Forero, J., Manrique, J., & Rojas, W. (2009). *Níquel en Colombia*. Unidad de Planeación Minero Energética, Bogotá, Colombia.
- Rojas, A., Flores, C., & López, D. (2019). Prospectivas de Aprovechamiento de Algunos Residuos Agroindustriales. *Revista Cubana de Química*, 31(1), 31-52.
- Romero, J., Amaya, A., Balderas, P., Roa, G., González, N., & Balderas, M. (2017). Tolerance and Hyperaccumulation of a Mixture of Heavy Metals (Cu, Pb, Hg, and Zn) by Four Aquatic Macrophytes. *International Journal of Phytoremediation*, 19(3), 239-245.
- Sahu, O., & Singh, N. (2019). Significance of Bioadsorption Process on Textile Industry Wasterwater. *In The Impact and Prospects of Green Chemistry fo Textile Technology*, 367-416. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780081024911000137>
- Sallam, G., & Elsayed, E. (2018). Estimating Relations Between Temperature, Relative Humidity as Independent Variables and Selected Water Quality. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(1), 1-14. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209044791500163X>
- Sallau, A., Aliyu, S., & Ukuwa, S. (2012). Biosorption of Chromium (VI) From Aqueous Solution by Corn Cob Powder. *International Journal of Environment and Bioenergy*, 4(3), 131-140. Obtenido de

- <http://modernscientificpress.com/Journals/ViewArticle.aspx?gkN1Z6Pb60HNQPymfPQIZEfj9NOY9tdgekOj6LfvobHRoQfMgfUHXETA+Tpn+out>
- Salleh, M. A., Mahmoud, D. K., Karim, W. A., & Idris, A. (2011). Cationic and Anionic dye Adsorption by Agricultural Solid Wastes: A Comprehensive Review. *Desalination*, 280(1-3), 1-13. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916411006333>
- Samuel, J., Shanthy, S., & Vashantha, R. (2016). Utilization of Agro-Waste Material as Potential Adsorbent for Removal of Cu (II) and Ni (II) ions From Aqueous Phase. *Indian Journal of Advances in Chemical Science*, 4(3), 346-354. Obtenido de <http://www.ijacskros.com/artcles/IJACS-M206.pdf>
- Sánchez, J., & Rodríguez, J. (2003). Biorremediación: fundamentos y aspectos microbiológicos. *Industria y minería*(351), 12-16.
- Sandoval, S. (2017). *Saneamiento de suelos contaminado con diésel utilizando Zea mays como fitorremediador*. Múnich: Grin Verlag.
- Sapag, N. (2011). *Proyectos de inversión, formulación y evaluación*. Chile.
- Sastre, A. (2007). Tecnologías para la Sostenibilidad "Procesos y Operaciones Unitarias en Depuración de Aguas Residuales. *Fundación EOI Gregorio del Amo Madrid*.
- Scarazzato, T., Panossian, Z., Tenorio, J. A., Pérez, H. V., & Espinosa, D. C. (2017). A review of cleaner production in electroplating industries using electrodialysis. *Journal of Cleaner Production*, 168, 1590-1602. doi:doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.152
- Secretaria de Salud de Bogotá. (2018). *Informe Bogotá como Vamos*. Bogotá-Colombia. Obtenido de http://www.saludcapital.gov.co/Inf_gestion/2018/INFORME_2018.pdf
- Shah, J., Kumar, S., Sharma, S., Sharma, R., & Sharma, R. (2016). Removal of nickel from aqueous solutions by using low cost adsorbents: a review. *International Journal Scientific Engineering and Applied Science*, 2(7), 48-73.
- Sharma, A., Tomer, A., Singh, J., & Chhikara, B. (2019). Biosorption of metal toxicants and other water pollutants by Corn (Maize) plant: A comprehensive review. *Journal of Integrated Science and Technology*, 7(2), 19-28.
- Shen, X., & Chen, X. (2019). Membrane-free Electrodeionization Using Phosphonic Acid Resin for Nickel Containing Wastewater Purification. *Separation and Purification Technology*, 223, 88-95. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586619306161>
- Sierra, M. C., Sargent, K. R., Reyes, M. F., Fuenmayor, Y., Acevedo, H., Ferrer, S. C., & Montiel, A. D. (2011). Biodegradabilidad de las diferentes fracciones de agua residual producida en una tenería. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 21(2), 5-19. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/911/91123440001.pdf>
- Singh, V., Ram, C., & Kumar, A. (2016). Physico-Chemical Characterization of Electroplating Industrial Effluents of Chandigarh and Haryana Region. *J Civil Environ Eng*, 6(237).
- Singha, A., & Guleria, A. (2014). Utility of Chemically Modified Agricultural Waste Okra Biomass for Removal of Toxic Heavy Metal ions From Aqueous Solutions. *Engineering in agriculture, environment and food*, 8(1), 52-60.

- Sistema de información Sobre la Biodiversidad de Colombia (SiB). (s.f.). *Sibcolombia*. (I. V. Humboldt, Editor) Recuperado el Febrero de 2017, de Sibcolombia.net: <http://www.sibcolombia.net/el-sib-colombia/>
- Solis, C. (2017). Remoción de Pb²⁺ en fase acuosa mediante sistemas por lote y continuo utilizando un bioadsorbente queratinoso biodegradable. (Tesis Maestría. *Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería y Medicina Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales* . Obtenido de <http://ninive.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/4526/MCA1SMC201701.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Suarez, D. (2006). *Conductividad Eléctrica por el Método Electrométrico en Aguas*. Obtenido de [http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+ El% C, 3, A9ctrica](http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+El%C3%A9ctrica).
- Sunderman Jr, W. (2017). Metacarbonilos (en especial níquel carbonilo). En G. Nordberg, & G. Nordberg, *Metales: Propiedades Químicas y Toxicidad*. (Vol. 2, págs. 1-76). Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Obtenido de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/enciclopedia_de_salud_y_seguridad_en_el_trabajo_oit_tomo_2_capitulo_63.pdf
- Suryan , S., & Ahluwalia, S. (2012). Biosorption of heavy metals by paper mill waste from aqueous solution. *International Journal Of Environmental Sciences*, 2(3), 1331-1343. Recuperado el 10 de Enero de 2019, de <http://www.ipublishing.co.in/ijesarticles/twelve/articles/voltwo/EIJES3125.pdf>
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*, 133-164. Obtenido de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-7643-8340-4_6
- Tejada, C., Villabona, Á., & Garcés, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnológicas*, 18(34), 109-123. Recuperado el 10 de Enero de 2019, de <https://www.redalyc.org/pdf/3442/344234336010.pdf>
- Tejada, C., Villabona, Á., González, Á., Marrugo, E., & Pájaro, M. (2018). Effect of bed height and biomass array on removal of an anion surfactant using a continuous rapid-mixed biofilters. *Contemporary Engineering Sciences*, 11(7), 297-305. doi:doi.org/10.12988/ces.2018.8227
- Tejada, L., Tejada, C., Marimón, W., & Villabona , Á. (2014). Estudio de modificación química y física de biomasa (*Citrus sinensis* y *Musa paradisiaca*) para la adsorción de metales pesados en solución. *Revista Luna Azul*(39), 124-142. Recuperado el 11 de marzo de 2019, de <https://www.redalyc.org/pdf/3217/321732142008.pdf>
- Tonk, S., Nagy, B., Török, A., Indolean, C., & Majdik, C. (2015). Cd (II), Zn (II) and Cu (II) Bioadsorption on Chemically Treated Waste Brewery Yeast Biomass: The Role of Functional Groups. *Acta Chimica Slovenica*, 62(3), 736-746.
- Torres, A., & Vanegas, G. (2018). *Evaluación de la capacidad de adsorción de la corteza de naranja (Citrus sinensis), bagazo de caña de azúcar (Saccharum officinarum) y borra de café (Coffea arabica) para la remoción del colorante azul brillante FCF (Tesis de Pregrado)*. Universidad Distrial Francisco José

- de Caldas. Bogotá: Facultad de medio ambiente y recursos naturales. Recuperado el 14 de marzo de 2019, de <https://pdfs.semanticscholar.org/4997/27d665e28b164d84204a139afc7e95929c90.pdf>
- TRADE MAP. (2016). *Lista de los países exportadores para Cobre y Oro en 2016*. TRADE MAP.
- Tscheikner-Gratl , F., Bellos, V., Schellart, A., Moreno, A., Muthusamy, M., Langeveld, J., . . . Tait, S. (2019). Recent insights on uncertainties present in integrated catchment water quality modelling. *Water research*, 150, 368-379. doi:doi.org/10.1016/j.watres.2018.11.079
- UICN. (13 de marzo de 2017). *he IUCN Red List of Threatened Species*. Obtenido de <http://www.iucnredlist.org>
- Urrutia, B. (2019). Tolerancia de Pleurotus Ostreatus a Diferentes Concentraciones de Plomo (Tesis, Pregado. *Universidad Técnica Federico Santa María*.
- USEPA. (2009). *Drinking Water Standards and Health Advisories*. Office of Water,. EPA 822-R-09-011. Washington, DC, USA.
- Vahter, M., Akensson, A., Lidén, C., Ceccatelli, S., & Berglund, M. (2007). Gender Differences in the Disposition and Toxicity of Metal. *Enviromental Research*, 104(1), 85-95. Obtenido de <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/j.envres.2006.08.003>
- Valladares, G., Cárdenas, V., De la Cruz, P., & Alemán, M. (2017). Adsorbentes no-convencionales Alternativas Sustentables para el Tratamiento de Aguas Residuales. *Revista Ingenierias Universidad de Medellín*, 16(31), 55-73. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-33242017000200055&script=sci_abstract&tlng=pt
- Vera, L., Uguña, M., García, N., Flores, M., Vázquez, V., & Aloma, I. (2015). Desarrollo de Materiales Sorbentes para la Eliminación de Metales Pesados de las Aguas Residuales Mineras. *Afinidad*, 73(574).
- Villabona, Á., Tejada, C., Herrera, A., González, Á., & Núñez, J. (2018). Preparation of Biosorbents from Corn Residual Biomass and its Application for Cr (VI) Uptake. *Contemporary Engineering Sciences*, 11(29), 1401-1409. Obtenido de <http://www.m-hikari.com/ces/ces2018/ces29-32-2018/p/gonzalezdCES29-32-2018.pdf>
- Visa, M., & Chelaru, A. (2014). Hydrothermally modified fly ash for heavy metals and dyes removal in advanced wastewater treatment. *Applied Surface Science*, 303, 14-22.
- Volesky, B., & Naja, G. (2005). Biosorption: application strategies. *In 16th International Biohydrometallurgy Symposium* , 25-29.
- Vyas, V. B., & Kulkarni, K. S. (2011). Electroplating and textile wastewater treatment by combined effect of adsorption and uv. *International Journal of Chemical Sciences*, 9(4), 1647-1656.
- WHO, W. (s.f.).
- World Health Organization. (2016). *Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*. World Health Organization.
- WWAP. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*.

- París: UNESCO. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas.
- Yang, S., Wu, Y., Aierken, A., Zhang, M., Fang, P., Fan, Y., & Ming, Z. (2016). Mono/Competitive Adsorption of Arsenic (III) and Nickel (II) Using Modified Green tea Waste. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 60, 213-221. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1876107015003338>
- Yu, H., Pang, J., Ai, T., & Liu, L. (2016). Biosorption of Cu²⁺, Co²⁺ and Ni²⁺ From Aqueous Solution by Modified Corn silk: Equilibrium, Kinetics, and Thermodynamic Studies. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 62, 21-30.
- Zhou, Q., Yang, N., Li, Y., Ren, B., Ding, X., Bian, H., & Yao, X. (Junio de 2020). Total concentrations and sources of heavy metal pollution in global river and lake water bodies from 1972 to 2017. *Global Ecology and Conservation*, 22, 1-11. Obtenido de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2351989419309357?token=6B166F2D0B44B316D08895EA2F670C72E5B194DFB4D344550C7E25F0CB7A48292001A350197B93562963F85A38657460>
- Zolezzi, C. (2017). Efecto del grado de oxidación del óxido de grafeno sobre la remoción de contaminantes solubles y particulados (Tesis Pregado). *Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.*

ANEXOS

Anexo 1

Check list

LISTA DE CHEQUEO EMPRESA ALPHA DE GALVANIZADO

1) Indicar los procesos realizados por la empresa

2) Que materias primas utilizan dentro del proceso?

3) Utilizan metales dentro del proceso?

SI ___ NO ___

4) Que metales utilizan dentro del proceso de Galvanizado?

5) Que químicos utilizan dentro del proceso Galvanizado? Que cantidad en gramos y que concentración?

6) Cuantos ballos de Galvanizado tienen en para el proceso? Y medida tienen?

7) Cuanto de Agua utilizan para cada ballo?

8) Estos ballos cuentan con una cubierta?

SI ___ NO ___

9) Que tratamiento hacen antes de ~~vertir~~ las aguas residuales?

10) Utilizan químicos para el tratamiento de las aguas residuales?

SI ___ NO ___

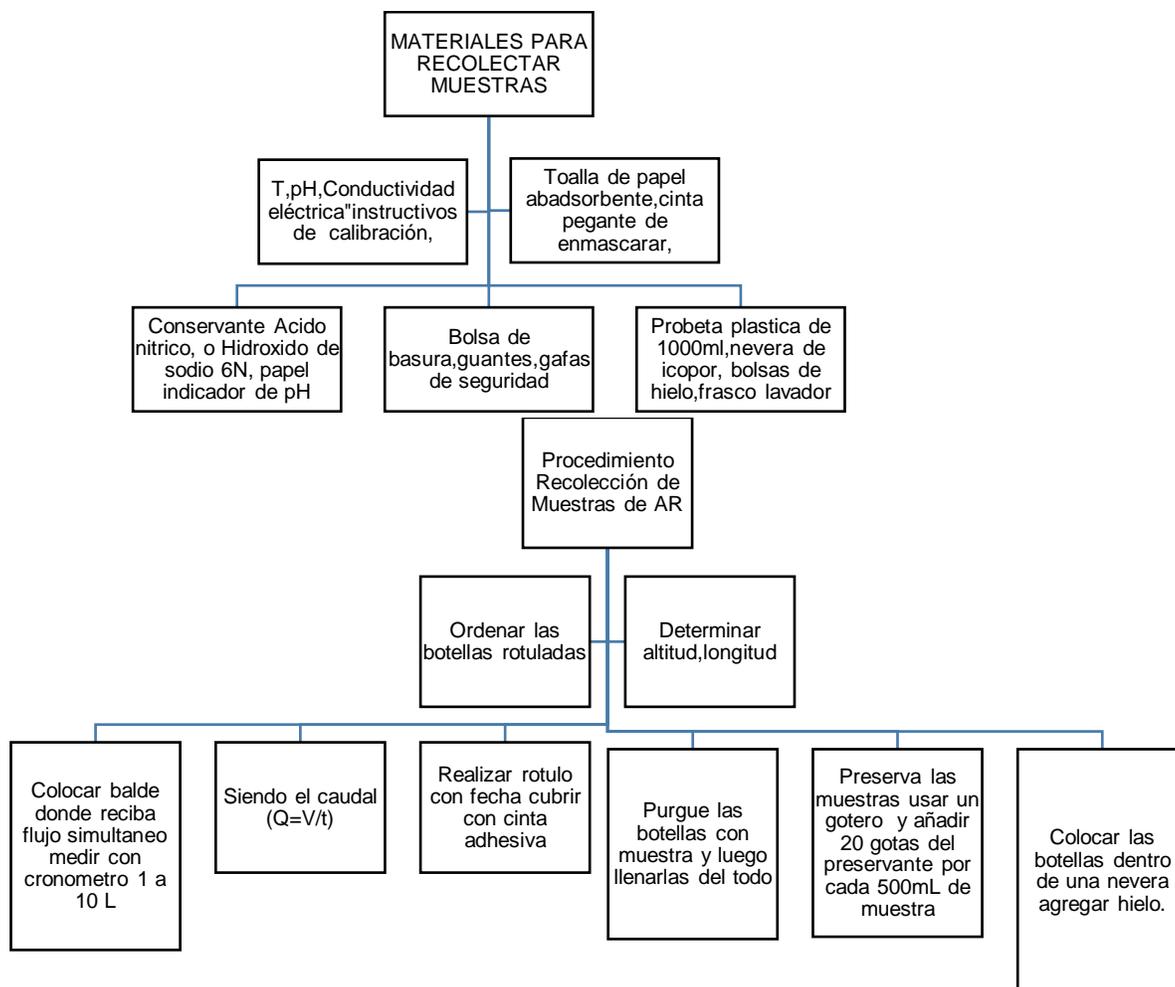
11) Qué Químicos utilizan para el tratamiento de las aguas residuales?

12) Cada cuanto realizan el tratamiento de agua?

Activar

Anexo 2

Proceso de Recolección de Muestras de Agua IDEAM



Parametro a analizar	Conservación	Maximo almacenamiento Recomendado/ Regulatorio
Alcalinidad total	Refrigeración	24h/14d
DBO	Refrigeración	6h/48h
DQO	Analizar tan pronto sea posible, o adicionar H ₂ SO ₄ a pH < 2.0 refrigerar	7d/28d
Conductividad eléctrica	Refrigeración	28d/28d
Metales en general	Para metales disueltos filtrar inmediatamente, adicionar NHO ₃ a pH<2	6 meses /6 meses
Cromo VI	Refrigerar	24h/24h
pH	Analizar inmediatamente	0.25h/0.25h
Temperatura	Analizar inmediatamente	0.25h/0.25h
Turbidez	Analizar el mismo día, guardar en oscuridad hasta 24 horas, refrigerar	24h/48h

Anexo 3

Cronograma de Actividades

Anexo 5

Tratamiento de Agua Residual con Cobre

COBREADO				
Equipo Requerido	Reactivo	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario
*Tanque de precipitación con sistema de agitación *Bomba de transferencia *pH metro	*Hipoclorito de sodio *Sulfato ferroso *Sulfato de aluminio Ácido sulfúrico *Lechada de cal	*Bombear el agua del enjuague al tanque de tratamiento. *Agitar durante 3 minutos (homogenizar) *Determinar el pH *Ajustar el pH a un valor de 8 con la adición de lechada de cal o una solución de ácido sulfúrico según sea el caso. *Sedimentación de lodos *Retirar los lodos del lecho y dejar secar al ambiente. *Mezclar los lodos secos con cal y cemento, utilizar embalajes de polietileno y enviar a Biolodos para ser desechado.	Se realiza filtración en bomba de vacío se utilizan filtros diseñados de tela de gabardina poliéster y filtro de papel con tamaño de micras y se hace pasar por ese y con el fin de inhibir el paso de partículas de ppm	Paso del agua residual por Una Columna Zeolitas y posteriormente por Columna de Resinas de intercambio catiónico que lo utilizan para captura de iones metálicos.

Fuente: Empresa Galvanotécnica

Anexo 6

Tratamiento de Agua Residual Cromo Hexavalente

CROMO HEXAVALENTE				
Equipo Requerido	Reactivo	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario
*Tanque de precipitación con sistema de agitación *Bomba de transferencia *pH metro	*Ácido sulfúrico *Bisulfito de sodio *Lechada de cal	*Bombear el agua del enjuague al tanque de tratamiento. *Agitar durante 3 minutos *Determinar el pH y la [] de Cr (VI) *Ajustar el pH con ácido sulfúrico (10-15%) agitación constante. *Calcular la cantidad de sulfito de sodio necesario, respecto a [] Cr (VI) y Vol de H ₂ O *Adicionar Sol anterior para reducir Cr (VI) a (III), agitar x 10 minutos. *Subir el pH a 10 con lechada de cal (20%). *Ajustar el pH a 8 con ácido sulfúrico (10-15 %) agitar.	Se realiza filtración en bomba de vacío se utilizan filtros diseñados de tela de gabardina poliéster y filtro de papel con tamaño de micras y se hace pasar por ese y con el fin de	Paso del agua residual por Una Columna Zeolitas y posteriormente por Columna de Resinas de intercambio catiónico que lo utilizan para captura de iones metálicos.

- *Dejar en reposo 1-2 horas hasta la sedimentación de los lodos. inhibir el paso de partículas de ppm
- *Retirar los lodos y dejar secar al ambiente. de ppm
- *Mezclar los lodos secos con cal y cemento, embalar en bolsas de polietileno y enviar a Biolodos.

Anexo 7

Tratamiento de Agua Residual de Níquel

NIQUEL				
Equipo Requerido	Reactivo	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario
*Tanque de precipitación con sistema de agitación *Bomba de transferencia *pH metro	*Ácido sulfúrico *Lechada de cal	Bombear el agua del enjuague al tanque de tratamiento. *Agitar durante 3 minutos *Mirar [] Níquel y pH *Precipitar el Níquel subiendo pH a 10 con lechada de Cal al 20% *Verificar [] de Níquel. *Ajustar el pH a 8 con ácido sulfúrico (10-15 %) agitar *Dejar en reposo hasta la sedimentación de los lodos *Mezclar los lodos secos con cal y cemento, embalar en bolsas de polietileno para enviar a Biolodos.	Se realiza filtración en bomba de vacío se utilizan filtros diseñados de tela de gabardina poliéster y filtro de papel con tamaño de micras y se hace pasar por ese y con el fin de inhibir el paso de partículas de ppm	Paso del agua residual por Una Columna Zeolitas y posteriormente por Columna de resinas de intercambio catiónico que lo utilizan para captura de iones metálicos.

Anexo 8

Proceso Análisis Químico Proximal

Humedad: se pesó 1g de hoja de mazorca (*Zea mays L*) tamizada se colocó por una hora al horno de secado a una temperatura de 110°C, posteriormente se pasaron al desecador por un lapso de tiempo de media hora, este proceso se repitió tres veces hasta llegar a un peso constante. (Narvaez & Villota, 2018)

Cenizas: se colocaron los crisoles con 1 gr de muestra seca en una mufla, esta se calentó hasta llegar a 740°C, se dejaron las muestras durante una hora. Después se dejaron enfriar por 3 horas y luego se colocaron en el desecador por media hora ver **Error! Reference source not found.** y posteriormente se pesaron. (Narvaez & Villota, 2018)

Para hallar los porcentajes de volátiles y carbono fijo se tuvieron en cuenta los resultados de humedad y cenizas.

Anexo 9

Criterios de Calificación Para Cada Ítem de Viabilidad Técnica, Económica y Ambiental

Categoría	Subcategoría	Ítem	Descripción	Calificación
Aspectos técnicos	Recursos necesarios	Agua	El proceso requiere de 1 a 5 L de agua	3
			El proceso requiere de 6 a 12 L de agua	2
			El proceso requiere de más de 13L de agua	1

Categoría	Subcategoría	Ítem	Descripción	Calificación	
		Energía	El proceso no requiere el uso de energía eléctrica.	3	
			El proceso requiere de una cantidad de energía un bajo consumo de energía.	2	
			El proceso requiere de una cantidad de energía de un alto consumo	1	
		Equipos y materiales	El proceso requiere equipos y materiales fáciles de adquirir y sustituir	3	
			El proceso requiere equipos y materiales no sustituibles, pero fáciles de adquirir	2	
			El proceso requiere equipos y materiales no sustituibles, cuya adquisición se debe realizar en lugares especializados	1	
		Insumos	El proceso requiere el uso de biomasa residual	3	
			El proceso requiere el uso de biomas viva	2	
			El proceso requiere el uso de insumos químicos	1	
		Transporte	El proceso no requiere transporte de la materia prima	3	
			El proceso requiere el transporte de la materia prima al sitio donde se realizará el tratamiento terciario	2	
			El proceso requiere el transporte de la materia prima al sitio donde ha de ser tratado y de los residuos del proceso hacia instalaciones de aprovechamiento o disposición final.	1	
		Desempeño del proceso	Eficiencia	*Entre 85% y 100%	3
				*Entre 70% y 84%	2
				Menos de 70%	1
	Aplicabilidad		El proceso es aplicable en aguas residuales con altas y baja concentraciones de Níquel	3	
			El proceso es aplicable en aguas residuales con altas concentraciones de Níquel	2	
			El proceso es aplicable en aguas residuales con bajas concentraciones de Níquel	1	
	Requerimiento		El proceso no requiere ningún pretratamiento.	3	

Categoría	Subcategoría	Ítem	Descripción	Calificación	
			El proceso requiere un pretratamiento que es fácilmente aplicable en campo.	2	
			El proceso requiere un pretratamiento que debe ser desarrollado por varios ciclos	1	
		Requerimiento de un postratamiento	El proceso no requiere de tratamiento posterior.	3	
			El proceso requiere un postratamiento que es fácilmente aplicable en campo.	2	
			El proceso requiere un postratamiento que debe ser desarrollado en varios ciclos	1	
		Operabilidad del proceso	El proceso se puede operar fácilmente debido a su adaptabilidad y bajos requerimientos de recursos específicos.	3	
			El proceso se puede operar fácilmente, pero debe adaptarse a unas condiciones mínimas de diseño y empleando recursos específicos.	2	
			El proceso se debe operar únicamente cumpliendo con todas las condiciones de diseño y empleando todos los recursos específicos.	1	
		Experiencia del proceso	Nacional	El proceso ha tenido en Colombia una etapa de desarrollo superior a 5 años.	3
				El proceso ha tenido en Colombia una etapa de desarrollo entre 1 y 5 años.	2
	El proceso no tiene antecedentes de haber sido aplicado en Colombia.			1	
	Internacionales		El proceso ha tenido una etapa de desarrollo internacional superior a 5 años.	3	
			El proceso ha tenido una etapa de desarrollo internacional entre 1 y 5 años.	2	
			El proceso no tiene antecedentes de haber sido aplicado en otros países.	1	
	Aspectos económicos	Costos de inversión	Costo de materiales	Costo de materiales e insumos en el proceso alto	3

Categoría	Subcategoría	ítem	Descripción	Calificación		
Aspectos ambientales	Impactos ambientales		Costo de materiales e insumos en el proceso medio	2		
			Costo de materiales e insumos en el proceso bajo	1		
		Costo de equipos	Costo de equipos en el mercado bajo	3		
			Costo de equipos en el mercado medio	2		
			Costo de equipos en el mercado alto	1		
		Costo adsorbente	Costo del adsorbente bajo	3		
			Costo del adsorbente medio	2		
			Costo del adsorbente alto	1		
		Costo Pretratamiento	El proceso no requiere ningún pretratamiento.	3		
			El proceso requiere un pretratamiento que representa un alto costo adicional y es fácilmente aplicable en campo.	2		
			El proceso requiere un pretratamiento que representa un alto costo adicional y debe ser desarrollado en varios ciclos	1		
		Costo de regeneración	La regeneración del adsorbente no genera un costo adicional.	3		
			La regeneración del adsorbente representa un costo adicional bajo, y es fácilmente aplicable en campo.	2		
			La regeneración del adsorbente representa un costo adicional alto y debe ser desarrollado con varios ciclos.	1		
		Aspectos ambientales	Impactos ambientales	Recursos aire emisiones atmosféricas	El proceso genera impactos ambientales bajos sobre el recurso aire.	3
					El proceso genera impactos ambientales moderados sobre el recurso aire.	2
					El proceso genera impactos ambientales altos sobre el recurso aire.	1
				Recurso aire (ruido)	Se genera ruido durante la ejecución del proceso, en niveles que no superan la norma vigente.	3
					Se genera ruido durante la ejecución del proceso, en niveles superiores pero cercanos a los	2

Categoría	Subcategoría	ítem	Descripción	Calificación
			límites máximos establecidos en la norma vigente.	
			Se genera ruido durante la ejecución del proceso, en niveles superiores a los límites máximos establecidos en la norma vigente.	1
		Recurso agua	El proceso genera un efluente con valores muy por debajo de los límites de la norma distrital (Res. 0631/2015)	3
			El proceso genera un efluente con valores superiores pero cercanos a los límites de la norma distrital (Res. 0631/2015)	2
			El proceso genera un efluente con valores muy superiores a los límites de la norma distrital (Res. 0631/2015)	1
		Recurso suelo	El proceso genera impactos ambientales recuperables a corto plazo sobre el recurso suelo.	3
			El proceso genera impactos ambientales recuperables a mediano plazo sobre el recurso suelo.	2
			El proceso genera impactos ambientales no recuperables sobre el recurso suelo.	1
		Flora	El proceso genera impactos ambientales recuperables a corto plazo sobre el recurso flora.	3
			El proceso genera impactos ambientales recuperables a mediano plazo sobre el recurso flora.	2
			El proceso genera impactos ambientales no recuperables sobre el recurso flora.	1
		Fauna	El proceso genera impactos ambientales recuperables a corto plazo sobre el recurso fauna.	3
			El proceso genera impactos ambientales recuperables a mediano plazo sobre el recurso fauna.	2
			El proceso genera impactos ambientales no recuperables sobre el recurso fauna.	1

Categoría	Subcategoría	ítem	Descripción	Calificación
		deSocial	El proceso genera impactos bajos en la salud humana por acción de la contaminación.	3
			El proceso genera impactos moderados en la salud humana por acción de la contaminación.	2
			El proceso genera impactos altos en la salud humana por acción de la contaminación.	1
		Gestión residuos	El proceso no genera ningún tipo de residuo.	3
			El proceso genera residuos que pueden ser aprovechados.	2
			El proceso genera residuos no aprovechables y/o con alguna característica de peligrosidad.	1

Anexo 10

Cálculo determinación sitios ácidos y básicos

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

Reemplazando para sitios ácidos

$$(0,1M) \cdot (12mL) = C_2 \cdot (10mL)$$

$$C_2 = 0,12 \text{ mol/L}$$

Reemplazando para sitios básicos

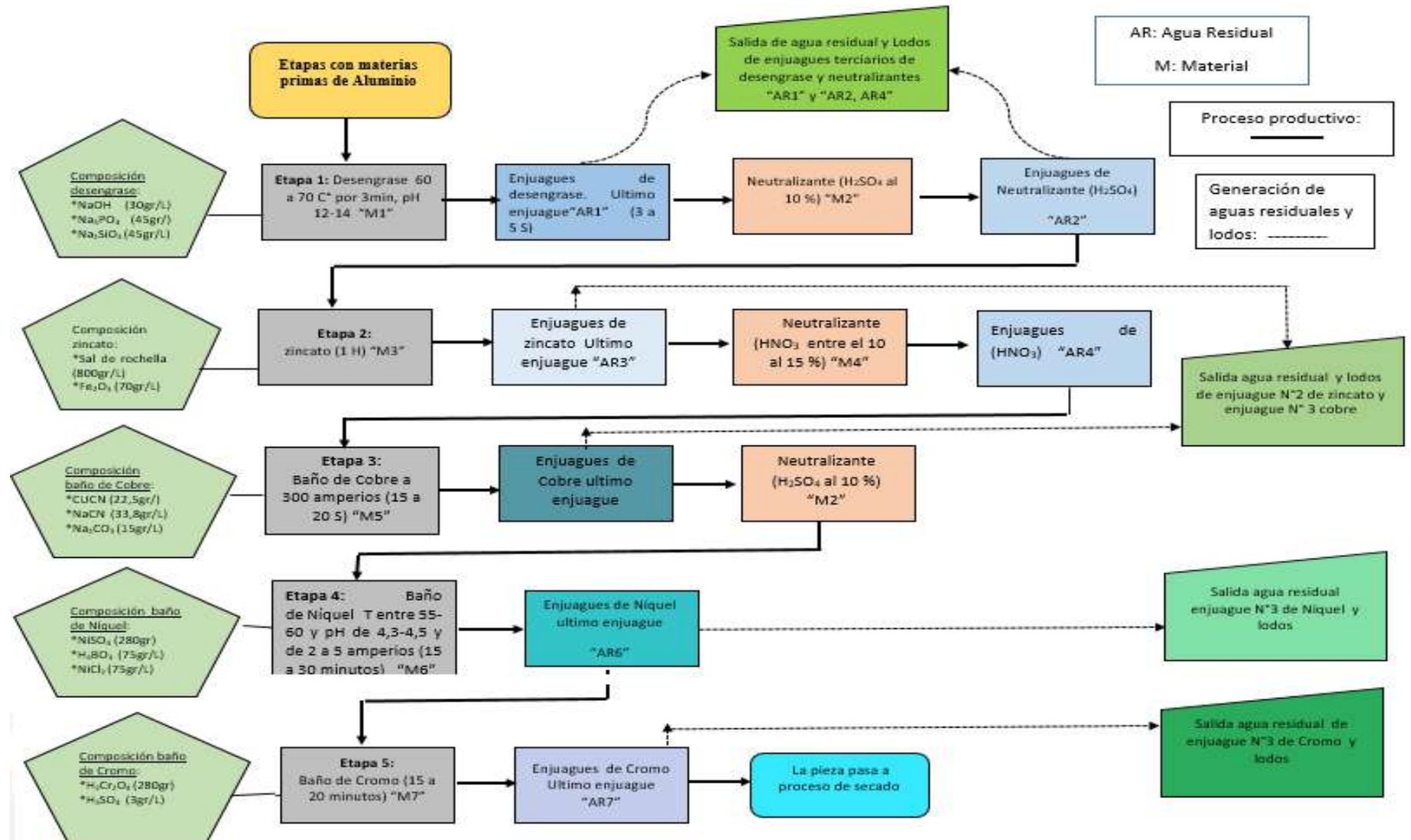
$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

$$(0,1M) \cdot (8mL) = C_2 \cdot (10mL)$$

$$C_2 = 0,08 \text{ mol/L}$$

Anexo 11

Diagrama de Flujo Proceso de Galvanizado en la Empresa Galvanotécnica con Materia Prima de Aluminio



Anexo 12

Diagrama de Flujo del Proceso Productivo de Galvanizado de la Empresa Galvanotécnica con Materia Prima de Hierro y ZAMAC

