



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE Al, Cd, Co, Cu, Cr, Ni Y Pb DE AGUAS
RESIDUALES PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA DE RECUBRIMIENTO
ELECTROQUÍMICO POR PROCESOS DE PRECIPITACIÓN QUÍMICA**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del

Título de Ingenieros Ambientales

LOS AUTORES: JORGE GABRIEL SALAS SOLIZ
PAMELA ALEXANDRA TABARES LOZA

TUTOR: RENATO GABRIEL SÁNCHEZ PROAÑO

**Quito-Ecuador
2022**

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo Jorge Gabriel Salas Soliz con documento de identificación N° 1722756721 y Pamela Alexandra Tabares Loza con documento de identificación N° 1726051947, manifestamos que:

Somos los autores del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir y reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 12 de septiembre del año 2022

Atentamente,



.....

.....

Jorge Gabriel Salas Soliz

Pamela Alexandra Tabares Loza

1722756721

1726051947

CERTIFICACIÓN DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros Jorge Gabriel Salas Soliz con documento de identificación N° 1722756721 y Pamela Alexandra Tabares Loza con documento de identificación N° 1726051947, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos Los autores del Trabajo Experimental: “Evaluación de la remoción de Al, Cd, Co, Cu, Cr, Ni Y Pb de aguas residuales procedentes de la industria de recubrimiento electroquímico por procesos de precipitación química”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Ambientales, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega final del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 12 de septiembre del año 2022

Atentamente,



.....
Jorge Gabriel Salas Soliz
1722756721



.....
Pamela Alexandra Tabares Loza
1726051947

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo Renato Gabriel Sánchez Proaño con documento de identificación N° 1715542401, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación : EVALUACIÓN DE LA REMOCIÓN DE Al, Cd, Co, Cu, Cr, Ni Y Pb DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA DE RECUBRIMIENTO ELECTROQUÍMICO POR PROCESOS DE PRECIPITACIÓN QUÍMICA, realizado por Jorge Gabriel Salas Soliz con documento de identificación N° 1722756721 y por Pamela Alexandra Tabares Loza con documento de identificación N° 1726051947, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajo Experimental que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 12 de septiembre del año 2022

Atentamente,



.....
Ing. Renato Gabriel Sánchez Proaño MSc.

1715542401

DEDICATORIA

A Dios por haber sido mi luz y fortaleza durante toda mi vida, por ayudarme a enfrentar los altibajos que se me han presentado durante este proceso estudiantil con paciencia, humildad y valentía.

A mis padres y hermanas que nunca me han dejado sola en ninguna etapa de mi vida, gracias por su paciencia, cariño, bondad y sobre todo su apoyo alentándome siempre a culminar mis sueños y anhelos.

A mi abuelita Soledad, mi cielito por ser el pilar más importante en mi vida, que ahora no está físicamente, pero siempre será mi mayor ejemplo de amor y perseverancia para hacer todas las cosas tanto profesionales como afectivas, un beso mi cielito.

A mi mami Fabi, sé que hoy ya no estas y me duele en el alma que no estés, pero sé que desde allá en el cielo me bendices y te alegras de mis logros.

A mis amigos West, Cris, Joss, Feli y Gabo, con quien tuve la oportunidad de compartir momentos inolvidables durante el proceso de mi vida universitaria, siendo hoy en día más que unos amigos.

Pamela Alexandra Tabares Loza

Dedico este trabajo especialmente a Dios por siempre mostrarme el camino correcto y darme la fortaleza de alcanzar una de las metas que me he propuesto en mi vida.

El presente trabajo dedico a mis padres por ser mi apoyo incondicional y mi pilar fundamental desde el inicio en mi vida estudiantil, a mi hermana por siempre se mi apoyo incondicional de manera profesional y personal

A mis amigos de la universidad especialmente a Pamela, Cristian, Wester, David, Felipe por siempre apoyarme y sacar lo mejor de mí en mis estudios y como persona.

A mis amigos de toda la vida Diego, Andrés, Derian, Juan, Leandro, Ronny, Cristian, Daniel y Aron por estar conmigo en mis momentos más difíciles, dándome consejos y sacándome sonrisas.

Jorge Gabriel Salas Soliz

AGRADECIMIENTO

Nos gustaría mostrar un especial agradecimiento a nuestro director de tesis el Ing. Msc. Renato Sánchez que ha sido la guía y apoyo incondicional para llevar de la mejor manera este proyecto de investigación, gracias por dedicarnos tiempo y aportarnos conocimiento.

Al Ingeniero Carlos Vélez, quien nos ha apoyado no solamente en el ámbito profesional sino también personal motivándonos cada día a seguir adelante y luchar por nuestro propósito. Desde la docencia y amistad nos enseñó que nada es fácil pero tampoco imposible.

Al Ingeniero Víctor Rueda, quien ha sido más que un profesional un amigo, lo guardaremos siempre en nuestro corazón Inge, nunca cambie. Gracias por sus ánimos que a pesar de las adversidades que pasamos usted tuvo las palabras precisas para motivarnos, así sea con chistes, fotos o videos, lo queremos amigazo.

A nuestros familiares y amigos que ha sido la base principal para que este paso por la vida universitaria sea más apacible.

A los Ingenieros Nelson y Richard de InstruLab quienes estuvieron prestos a brindar su ayuda al momento más críticos y finales de nuestro proyecto, nuestros mejores deseos.

*Pamela Alexandra Tabares Loza
Jorge Gabriel Salas Soliz*

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	XIX
ABSTRACT	XXI
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Pregunta de investigación	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
1.3 Hipótesis	3
1.3.1 <i>Hipótesis nula “H₀”</i>	3
1.3.2 <i>Hipótesis alternativa “H₁”</i>	3
2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1 Generalidades del agua	4
2.2 Fuentes de agua	5
2.2.1 <i>Aguas residuales</i>	7
2.2.2 <i>Fuentes de aguas residuales</i>	7
2.2.3 <i>Caracterización de componentes de agua residual</i>	9
2.2.4 <i>Parámetros físicos</i>	9
2.2.4.1 <i>Color</i>	9
2.2.4.2 <i>Sólidos totales</i>	10
2.2.4.3 <i>Conductividad eléctrica</i>	10
2.2.4.4 <i>Potencial de hidrogeno “pH”</i>	11
2.2.4.5 <i>Turbidez</i>	11
2.2.5 <i>Características químicas</i>	11
2.2.5.1 <i>Demanda química de oxígeno</i>	11

2.2.5.2	Aluminio.....	12
2.2.5.3	Cadmio.....	13
2.2.5.4	Cobalto.....	14
2.2.5.5	Cobre.....	14
2.2.5.6	Cromo.....	14
2.2.5.7	Níquel.....	15
2.2.5.8	Plomo.....	15
2.3	Generalidades de metales pesados.....	16
2.3.1	<i>Efectos potenciales e impactos medio ambientales y salud humana de los metales pesados “Al, Cd, Co, Cu, Cr, Ni y Pb”</i>	17
2.3.1.1	Aluminio.....	18
2.3.1.2	Cadmio.....	19
2.3.1.3	Cobalto.....	19
2.3.1.4	Cobre.....	21
2.3.1.5	Cromo.....	22
2.3.1.6	Níquel.....	23
2.3.1.7	Plomo.....	24
2.4	Tratamiento de agua residuales por procesos químicos.....	25
2.4.1	<i>Precipitación química</i>	25
2.4.1.1	Coagulación.....	26
2.4.1.2	Floculación.....	27
2.4.1.3	Sedimentación.....	28
2.5	Industria de recubrimiento electroquímico.....	28
2.5.1	<i>Procesos de recubrimientos electrolíticos</i>	29
2.5.1.1	Neutralizado.....	30
2.5.1.2	Niquelado.....	30
2.5.1.3	Cromado.....	32
2.6	Marco Legal.....	34

3	MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1	Reactivos y equipos	35
3.2	Metodología utilizada	39
3.2.1	<i>Fase de campo</i>	39
3.2.1.1	Selección de puntos de muestreo.	39
3.2.1.2	Muestreo.	39
3.2.2	<i>Fase de laboratorio</i>	42
3.2.2.1	Análisis preliminar de calidad de agua.	42
3.2.2.1.1	Métodos empleados para análisis de parámetros físicos y químicos.	43
3.2.2.1.2	Método de precipitación de cromo VI y níquel.	47
3.2.3	<i>Fase de análisis de metales</i>	51
3.2.3.1	Análisis de metales en fotómetro multiparamétrico.	53
3.2.3.2	Análisis de metales por espectrofotometría de absorción atómica.	54
3.2.3.2.1	<i>Espectrofotometría de absorción atómica en horno de grafito</i>	54
3.2.3.2.2	<i>Eficiencia de remoción de metales pesados</i>	58
3.2.4	<i>Fase de Estadística</i>	59
3.2.4.1	Diseño Experimental.....	59
3.2.4.2	Diseño Estadístico.....	59
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
4.1	Resultados de análisis de remoción de metales por procesos de precipitación química	61
4.1.1	<i>Parámetros de calidad de agua y metales analizados</i>	61
4.1.1.1	Concentraciones iniciales del agua industrial.	61
4.1.1.2	Tratamiento de agua residual.	64
4.1.1.3	Precipitación de Níquel y Cromo VI.	68
4.1.1.3.1	<i>Cromo VI</i>	68
4.1.1.3.2	<i>Níquel</i>	76
4.1.1.4	Resultados de análisis de remoción de metales por procesos de precipitación química. 80	
4.1.1.4.1	<i>Eficiencia de Jar Test –método PAC</i>	80

4.1.1.4.2	<i>Eficiencia de Jar Test – método de cloruro de férrico</i>	81
4.1.1.4.3	<i>Eficiencia de Jar Test- Método de sulfato de aluminio</i>	82
4.1.1.4.4	<i>Eficiencia de Jar Test- precipitación de cromo método efectivo</i>	83
4.1.1.4.5	<i>Eficiencia de Jar Test- precipitación de níquel método efectivo</i>	84
4.1.2	<i>Determinación de porcentaje de remoción de aluminio</i>	87
4.1.2.1	Análisis ANOVA para la remoción de aluminio en el enjuague de cromo, níquel y neutralizante	88
4.1.2.1.1	<i>Enjuague de cromo</i>	88
4.1.2.1.2	<i>Enjuague de níquel</i>	90
4.1.2.1.3	<i>Enjuague neutralizante</i>	91
4.1.3	<i>Determinación de porcentaje de remoción de cadmio</i>	94
4.1.3.1	Análisis ANOVA para la remoción de cadmio en el enjuague de cromo, níquel y neutralizante	95
4.1.3.1.1	<i>Enjuague de cromo</i>	95
4.1.3.1.2	<i>Enjuague de níquel/neutralizante</i>	97
4.1.4	<i>Determinación de porcentaje de remoción de cobalto</i>	99
4.1.4.1	Análisis ANOVA para la remoción de cobalto en el enjuague de cromo, níquel y neutralizante	100
4.1.4.1.1	<i>Enjuague de cromo/ neutralizante</i>	100
4.1.4.1.2	<i>Enjuague de níquel</i>	101
4.1.5	<i>Determinación de porcentaje de remoción de cobre</i>	104
4.1.5.1	Análisis ANOVA para la remoción de cobre en el enjuague de cromo, níquel y neutralizante	105
4.1.5.1.1	<i>Enjuague de cromo</i>	105
4.1.5.1.2	<i>Enjuague de níquel</i>	107
4.1.5.1.3	<i>Enjuague neutralizante</i>	110
4.1.6	<i>Determinación de porcentaje de remoción de cromo VI</i>	113
4.1.6.1	Análisis ANOVA para la remoción de cromo VI en el enjuague de cromo, níquel y neutralizante	114
4.1.6.1.1	<i>Enjuague de cromo</i>	114
4.1.6.1.2	<i>Enjuague de níquel</i>	117

4.1.6.1.3	<i>Enjuague neutralizante.</i>	119
4.1.7	<i>Determinación de porcentaje de remoción de níquel.</i>	121
4.1.7.1	Análisis ANOVA para la remoción de níquel en el enjuague de cromo, níquel y neutralizante.	122
4.1.7.1.1	<i>Enjuague de cromo</i>	122
4.1.7.1.2	<i>Enjuague de níquel /neutralizante.</i>	125
4.1.8	<i>Determinación de porcentaje de remoción de plomo</i>	127
4.1.8.1	Análisis ANOVA para la remoción de plomo en el enjuague de cromo, níquel y neutralizante.	128
4.1.8.1.1	<i>Enjuague de cromo.</i>	128
4.1.8.1.2	<i>Enjuague de níquel</i>	130
4.1.8.1.3	<i>Enjuague neutralizante</i>	131
4.2	Discusión	133
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	136
5.1	Conclusiones	136
5.2	Recomendaciones	139
6	BIBLIOGRAFÍA	140
7	ANEXOS	145

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Distribución del agua en la tierra.....</i>	<i>4</i>
<i>Tabla 2: Fuentes de agua y definiciones.....</i>	<i>5</i>
<i>Tabla 3: Fuentes de aguas residuales y definiciones.....</i>	<i>8</i>
<i>Tabla 4: Identificación de calidad de agua a diferentes valores de DQO.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 5: Coagulantes, floculantes y polielectrólitos en precipitación química.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 6: Normativa ambiental vigente aplicable</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 7: Reactivos usados para prueba de jarras.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 8: Estándares usados para la determinación de metales.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 9: Materiales utilizados.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 10: Equipos utilizados.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 11: Equipos del espectrofotómetro de absorción atómica.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 12: Parámetros para determinar la calidad de agua</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 13: Paramientos evaluados ,equipos, materiales y métodos empleados para el análisis de parámetros físicos y químicos</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 14: Equipos, materiales y métodos pruebas de tratabilidad.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 15: Concentración de vaso para prueba de jaras.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 16: Pruebas de tratabilidad de cromo VI.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 17: Pruebas de tratabilidad de níquel.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 18: Parámetros para determinar metales pesados</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 19: Materiales y métodos para análisis de metales en el fotómetro multiparamétrico.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 20: Estándares madre de los metales Cd, Co y Pb.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 21: Parámetros de cálida de agua - enjuague de cromo</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 22: Parámetros de cálida de agua - enjuague de níquel.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 23: Parámetros de cálida de agua - enjuague de neutralizante.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 24: Prueba de jarras con PAC, FeCl₃ y Al₂(SO₄)₃.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 25: Resultados del Jar Test y parámetros de análisis por enjuagues evaluados</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 26: Prueba 1 de precipitación de cromo VI</i>	<i>70</i>

<i>Tabla 27: Prueba 2 de precipitación de cromo VI</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 28: Prueba 3 de precipitación de cromo VI</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 29: Prueba 4 de precipitación de cromo VI</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 30: Parámetros de calidad con el método eficiente de remoción de Cr VI - enjuague de cromo....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 31: Prueba 1 de precipitación de níquel</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 32: Prueba 2 de precipitación de Níquel.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 33: Parámetros de calidad de agua de enjuague de níquel aplicado hidróxido de calcio</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 34: Tabla resumen de porcentaje de remoción por el método de PAC</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 35: Tabla resumen de porcentaje de remoción por el método de cloruro férrico.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 36: Tabla resumen de porcentaje de remoción por el método de sulfato de aluminio.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 37: Concentración de metales –enjuague de cromo- metabisulfito de sodio.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 38: Porcentaje de remoción de Metales mediante metabisulfito de Sodio</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 39: Concentración de metales – enjuague de níquel –hidróxido de calcio.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 40: Porcentaje de remoción de metales mediante hidróxido de calcio</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 41: Resultados de porcentaje de remoción de aluminio en los enjuagues de cromo, níquel y neutralizante</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 42: Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de aluminio en el enjuague de cromo</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 43: Prueba de Tukey enjuague de cromo-análisis de aluminio.....</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 44: Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de aluminio en el enjuague de neutralizante.</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 45: Prueba de Tukey enjuague neutralizante -análisis aluminio</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 46: Resultados de porcentaje de remoción de cadmio en los enjuagues de cromo, níquel y neutralizante</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 47: Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de cadmio en el enjuague de cromo</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 48: Prueba de Tukey enjuague de cromo- análisis de cadmio.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 49: Resultados de porcentaje de remoción de cobalto en los enjuagues de cromo, níquel y neutralizante</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 50: Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de cobalto en el enjuague de níquel</i>	<i>101</i>
<i>Tabla 51: Prueba de Tukey enjuague de níquel – análisis de cobalto</i>	<i>102</i>

Tabla 52: Resultados de porcentaje de remoción de cobre en los enjuagues de cromo, níquel y neutralizante	104
Tabla 53: Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de cobre en el enjuague de cromo	105
Tabla 54: Prueba de Tukey enjuague de cromo – análisis de cobre	106
Tabla 55: Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de cobre en el enjuague de níquel	107
Tabla 56: Prueba de Tukey enjuague de níquel – análisis de cobre	108
Tabla 57: Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de cobre en el enjuague neutralizante	110
Tabla 58: Prueba de Tukey enjuague neutralizante- análisis de cobre.....	111
Tabla 59: Resultados de porcentaje de remoción de cromo VI en los enjuagues de cromo, níquel y neutralizante	113
Tabla 60: Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de cromo VI en el enjuague de cromo	114
Tabla 61: Prueba de Tukey enjuague de cromo – análisis de cromo Vi.....	115
Tabla 62: Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de cromo VI en el enjuague de níquel.....	117
Tabla 63: Prueba de Tukey enjuague de níquel – análisis de cromo VI.....	118
Tabla 64: Resultados de porcentaje de remoción de níquel en los enjuagues de cromo, níquel y neutralizante	121
Tabla 65: Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de níquel en el enjuague de cromo	122
Tabla 66: Prueba de Tukey enjuague de níquel – análisis de níquel	123
Tabla 67: Resultados de porcentaje de remoción de plomo en los enjuagues de cromo, níquel y neutralizante	127
Tabla 68: Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de plomo en el enjuague de cromo	128
Tabla 69: Prueba de Tukey- enjuague de cromo – análisis de plomo.....	129
Tabla 70: Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de plomo en el enjuague neutralizante	131
Tabla 71: Prueba de Tukey enjuague de níquel- análisis de plomo.....	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución del agua en la tierra.....	5
Figura 2: Tabla periódica.....	17
Figura 3: Diagrama del proceso de recubrimiento electrolítico.....	29
Figura 4: Enjuague neutralizante.....	30
Figura 5: Enjuague de níquel.....	31
Figura 6: Enjuague de cromo.....	33
Figura 7: Proceso de homogenización pre-llenado de los envases con la muestra.....	40
Figura 8: Recolección de muestra enjuague de cromo.....	40
Figura 9: Recolección de muestra enjuague de níquel.....	41
Figura 10: Recolección de muestra enjuague neutralizante. Los autores.....	41
Figura 11: Solubilidad de hidróxidos y sulfuros metálicos en función del pH.....	49
Figura 12: Comparación de porcentajes de remoción del aluminio en el enjuague de cromo por métodos evaluados.....	90
Figura 13: Comparación de porcentajes de remoción de aluminio en el enjuague de níquel por métodos evaluados.....	91
Figura 14: Comparación de porcentajes de remoción de aluminio en el enjuague neutralizante por métodos evaluados.....	93
Figura 15: Comparación de porcentajes de remoción de cadmio en el enjuague de cromo por métodos evaluados. Los autores.....	97
Figura 16: Comparación de porcentajes de remoción de cadmio en el enjuague de níquel por métodos evaluados. Los autores.....	98
Figura 17: Comparación de porcentajes de remoción de cadmio en el enjuague neutralizante por métodos evaluados.....	98
Figura 18: Comparación de porcentajes de remoción de cobalto en el enjuague de cromo por los métodos evaluados. Los autores.....	100
Figura 19: Comparación de porcentajes de remoción de cobalto en el enjuague neutralizante por los métodos evaluados Los autores.....	101

Figura 20: Comparación de porcentajes de remoción de cobalto en el enjuague de níquel por métodos evaluados.	103
Figura 21: Comparación de porcentajes de remoción de cobre en el enjuague de cromo por métodos evaluados.	107
Figura 22: Comparación de porcentajes de remoción de cobre en el enjuague de níquel por métodos evaluados.	109
Figura 23: Comparación de porcentajes de remoción de cobre en el enjuague neutralizante por métodos evaluados.	112
Figura 24: Comparación de porcentajes de remoción de cromo VI en el enjuague de cromo por métodos evaluados.	116
Figura 25: Comparación de porcentajes de remoción de cromo VI en el enjuague níquel por métodos evaluados. Los autores	119
Figura 26: Comparación de porcentajes de remoción de cromo VI en el enjuague neutralizante por métodos evaluados.....	120
Figura 27: Comparación de porcentajes de remoción de níquel en el enjuague de cromo por métodos evaluados.	124
Figura 28: Comparación de porcentajes de remoción de níquel en el enjuague de níquel por métodos evaluados.	125
Figura 29: Comparación de porcentajes de remoción de níquel en el enjuague neutralizante por métodos evaluados. Los autores	126
Figura 30: Comparación de porcentajes de remoción de plomo en el enjuague de cromo por métodos evaluados.	130
Figura 31: Comparación de porcentajes de remoción de plomo en el enjuague níquel por métodos evaluados.	131
Figura 33: Comparación de porcentajes de remoción de plomo en el enjuague neutralizante por métodos evaluados.	133

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1: Tabla 8. Límites De Descarga Al Sistema De Alcantarillado Publico</i>	145
<i>Anexo 2: Registro fotográfico de medición de parámetros físicos y químicos.</i>	146
<i>Anexo 3: Medición de metales fotómetro multiparámetro COD</i>	153
<i>Anexo 4: Medición de metales espectrofotómetro de absorción Atómica</i>	155
<i>Anexo 5: Parámetros de calidad de agua - método PAC</i>	156
<i>Anexo 6: Parámetros de calidad de agua - método cloruro férrico</i>	158
<i>Anexo 7: Parámetros de calidad de agua –método sulfato de aluminio</i>	159
<i>Anexo 8: Pruebas de tratabilidad por enjuagues evaluados</i>	161
<i>Anexo 9: Determinación de concentración por metales - método PAC</i>	162
<i>Anexo 10: Determinación de concentración por metales - método cloruro férrico</i>	165
<i>Anexo 11: Determinación de concentración por metales - método sulfato de aluminio</i>	167
<i>Anexo 12: Análisis de estadístico en los enjuagues de cromo, níquel y neutralizante</i>	170
<i>Anexo 13: Guía de manejo del equipo de espectrofotometría de absorción atómica -método horno de grafito para los metales de cadmio, cobalto y plomo</i>	181

RESUMEN

El presente trabajo evaluó la remoción de Al, Cd, Co, Cu, Cr, Ni y Pb de aguas residuales procedentes de la industria de recubrimiento electroquímico por procesos de precipitación química.

La metodología de investigación empleada fue experimental (fase de campo y laboratorio) y estadística (ANOVA 95 %). La parte experimental está compuesta por: fase de campo en la cual se utilizó el método APHA “Standard Methods for examination of water and wastewater”; en la fase de laboratorio, se llevó a cabo un análisis de la calidad de agua preliminar y posterior a la aplicación de los métodos de estudio floculante, coagulante y polielectrolítico; en la fase de análisis de los metales (Al, Cd, Co, Cu, Cr, Ni y Pb), se llevó a cabo por el método de espectrofotometría de absorción atómica por horno de grafito y fotómetro multiparámetro COD, efectuando un total 14 muestras con 3 repeticiones por cada metal y para la evaluación se basó en la normativa AM097-A para alcantarillado.

Las concentraciones iniciales de los parámetros de calidad de agua en los enjuagues de cromo, níquel y neutralizante no estaban dentro de norma por lo cual se procede a evaluar su concentración con la aplicación de los 3 métodos (PAC, cloruro férrico y sulfato de aluminio), donde se obtuvo como resultado que el de sulfato de aluminio es el único que permite que lleguen los parámetros de calidad de agua a norma para el enjuague neutralizante.

Debido a las altas concentraciones de los metales de níquel y cromo VI, en el enjuague de níquel y enjuague de cromo respectivamente; se procede a la evaluación de 4 pruebas con diferentes químicos (PAMC/Na(OH)/Na₂(SO₃), PAMA/Ca(OH)₂, Ca(OH)₂, Na₂S₂O₅) para el enjuague de cromo, teniendo como efectiva la prueba del metabisulfito de sodio (Na₂S₂O₅) con una concentración óptima para la precipitación de cromo VI de 150 mg/L, mantenido el pH de 2

con ácido sulfúrico, con un tiempo de mezcla de 5 minutos y una velocidad de agitación de 50 rpm. Para lograr la precipitación de níquel, se emplearon pruebas con (PAMC/Na(OH), Ca(OH)₂), donde se obtuvo como efectiva la prueba con hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) teniendo como concentración óptima para la precipitación de 1500 mg/L, con un tiempo de mezcla de 30 minutos y una velocidad de agitación de 100 rpm.

Palabras Claves: Aguas residuales de recubrimiento electroquímico de metales, precipitación química, metales pesados

ABSTRACT

The present work evaluated the removal of Al, Cd, Co, Cu, Cr, Ni and Pb from wastewater from the electrochemical coating industry by chemical precipitation processes.

The research methodology used was experimental (field and laboratory phase) and statistical (ANOVA 95%). The experimental part is composed of: field phase in which the APHA method "Standard Methods for examination of water and wastewater" was used; In the laboratory phase, a preliminary and subsequent water quality analysis was carried out after the application of the flocculant, coagulant and polyelectrolyte study methods; in the metal analysis phase (Al, Cd, Co, Cu, Cr, Ni and Pb), it was carried out by the graphite furnace atomic absorption spectrophotometry method and COD multiparameter photometer, making a total of 14 samples with 3 repetitions for each metal and for the evaluation it was based on the AM097-A standard for sewage.

The initial concentrations of the water quality parameters in the chromium, nickel and neutralizer rinses were not within the norm, so their concentration was evaluated with the application of the 3 methods (PAC, ferric chloride and aluminum sulfate), obtaining as a result that aluminum sulfate is the only one that allows the water quality parameters to reach the standard for the neutralizing rinse.

Due to the high concentrations of the metals nickel and chromium VI, in the nickel rinse and chrome rinse, respectively; We proceed to the evaluation of 4 tests with different chemicals (PAMC/Na(OH)/Na₂(SO₃), PAMA/Ca(OH)₂, Ca(OH)₂, Na₂S₂O₅) for chrome rinsing, having as effective the sodium metabisulfite test (Na₂S₂O₅) with an optimal concentration for the precipitation of chromium VI of 150 mg/L, maintained at pH 2 with sulfuric acid, with a mixing time of 5 minutes and a stirring speed of 50 rpm. To achieve nickel precipitation, tests with

different chemicals (PAMC/Na(OH), Ca(OH)₂) were used, obtaining the test with calcium hydroxide (Ca(OH)₂) as effective, having as optimal concentration for precipitation of 1500 mg/L, with a mixing time of 30 minutes and a stirring speed of 100 rpm.

Keywords: Wastewater from electrochemical coating of metals, chemical precipitation, heavy metals

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS

ACGIH: Conferencia Estadounidense de Higienistas Industriales Gubernamentales (American Conference of Governmental Industrial Hygienists).

AM097-A: Acuerdo Ministerial 097-A

ANOVA: Análisis de varianza para comparación de múltiples medias

Al: Aluminio

Alpha: α

Cd: Cadmio

Co: Cobalto

Cr: Cromo

Cu: Cobre

DF: grados de libertad

EEA: Espectrofotometría de Absorción Atómica

EJ-Cr: Enjuague de cromo

EJ-Ni: Enjuague de níquel

EJ-NEUTRA: Enjuague Neutralizante

F: Estadística F

GFAAS: Espectrofotometría de absorción atómica de horno de grafito

MS: Cuadrado medio

NIOSH: Instituto Nacional para la Salud y Seguridad en el Trabajo (National Institute for Occupational Safety and Health).

Ni: Níquel

OMS: Organización Mundial de la Salud

OSHA: Administración de Salud y Seguridad en el Trabajo (Occupational Safety and Health Administration).

PAM-A: Poliacrilamida aniónica

PAM-C: Poliacrilamida catiónica

Pb: Plomo

P-value: Probabilidad

1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación trata sobre la evaluación de la remoción de Al, Cd, Co, Cu, Cr, Ni y Pb de aguas residuales procedentes de la industria de recubrimiento electroquímico mediante procesos de precipitación química. El procedimiento de recubrimiento en metales en la actualidad tiene gran aplicación dentro del área de la industria tanto en la fabricación de maquinaria, piezas de carrocería, muebles y rejas. El recubrimiento electroquímico es uno de muchos procesos en piezas metálicas de uso industrial, doméstico e incluso en labores artesanales (joyería), por lo cual gran demanda y uso, debido a que sirve principalmente para atenuar la oxidación y corrosión de los metales (Jiménes, 2017).

Finalmente, el presente estudio abrirá la pauta para futuras investigaciones en el Ecuador sobre la capacidad, rentabilidad y eficiencia de la implementación de coagulantes, floculantes y polielectrolíticos para el tratamiento de aguas residuales industriales, lo cual permitirá en futuros estudios revelar su importancia para los distintos campos en el tratamiento de efluentes contaminados con metales pesados.

1.1 Pregunta de investigación

¿Cuál es el porcentaje de remoción de Al, Cd, Co, Cu, Cr, Ni y Pb, en los 3 tipos de aguas residuales (enjuague de cromo, enjuague de níquel y enjuague neutralizante), procedentes de la industria de recubrimiento electroquímico mediante la aplicación de 3 métodos de tratamiento por coagulantes, floculantes o polielectrolíticos?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Evaluar la remoción de Al, Cd, Co, Cu, Cr, Ni y Pb de aguas residuales procedentes de la industria de recubrimiento electroquímico mediante procesos de precipitación química.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar tres métodos de tratamiento por coagulantes, floculantes y polielectrolítico para tratar las aguas residuales procedentes de la industria de recubrimiento electroquímico.
- Caracterizar los parámetros iniciales de metales pesados por espectrofotometría de absorción atómica y cromatografía para 3 muestras de agua residual procedente de una industria de recubrimiento electroquímico, para conocer el porcentaje de remoción de Al, Cd, Co, Cu, Cr, Ni y Pb, con los 3 métodos a realizar.
- Determinar la dosis óptima de tres métodos de tratamiento por coagulantes, floculantes y polielectrolítico para las 3 muestras de agua residual procedente de una industria de recubrimiento electroquímico, para llegar a valores óptimos de los límites de descarga al sistema de alcantarillado dentro de la normativa 097 A.

1.3 Hipótesis

1.3.1 Hipótesis nula “H₀”

Los tratamientos coagulantes, floculantes y polielectrolíticos no son eficiente para la remoción de los metales (Al, Cd, Co, Cu, Cr, Ni y Pb) en los enjuagues de cromo, enjuague de níquel y enjuague neutralizante.

1.3.2 Hipótesis alternativa “H₁”

Los tratamientos coagulantes, floculantes y polielectrolíticos si son eficiente para la remoción de los metales (Al, Cd, Co, Cu, Cr, Ni y Pb) en los enjuagues de cromo, enjuague de níquel y enjuague neutralizante.

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Generalidades del agua

El agua es un compuesto con propiedades únicas, que cubre más del 70 % de la superficie del planeta y es el sustento principal de la vida. Es un solvente extraordinario considerado como reactivo ideal en muchos procesos metabólicos y sobre todo que con su movimiento puede modelar el paisaje y afectar el clima (Fernández, 2012). A continuación, se especifica la distribución del agua en el planeta tierra. (ver Tabla 1)

Tabla 1

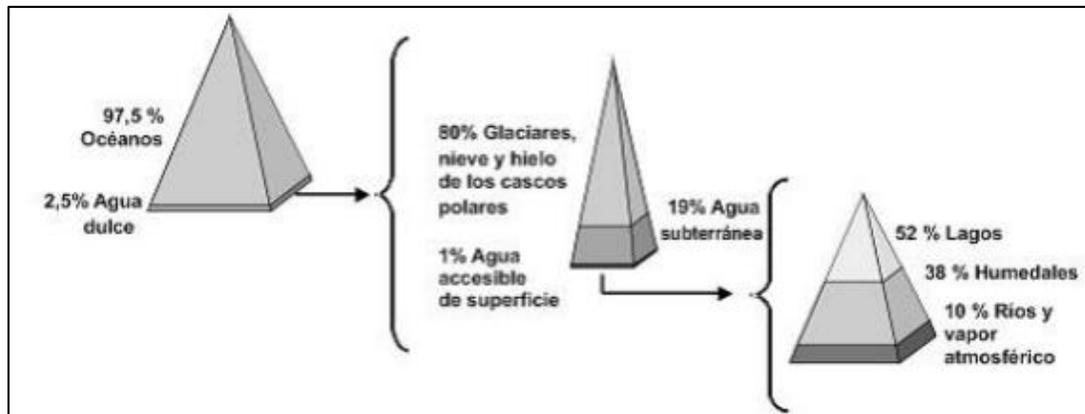
Distribución del agua en la tierra

Fuente de Agua	Porcentaje (%)
Océanos	97,5 %
De este grupo solo un pequeño porcentaje representa el agua dulce.	2,5%
Entre estos se encuentran los glaciares, la nieve y el hielo de los cascos polares	80 %
Agua Subterránea	19 %
Agua de Superficie Accesible	1%
Rápidamente	
Dentro de esta fuente, existe otras fuentes:	
Lagos	38%
Humedales	52%
Ríos y vapor atmosférico	10%

Nota: Distribución del recurso agua en la Tierra..Elaborado por: Los autores con información obtenida de (Fernández, 2012)

Figura 1

Distribución del agua en el planeta tierra



Nota: El grafico representa la distribución del agua en el planeta tierra a manera de porcentajes.

Tomando de El agua: un recurso esencial, (p.148), por A, Fernández, 2012, *Revista Química Viva*, 3.

2.2 Fuentes de agua

Tabla 2

Fuentes de agua y definiciones

Fuentes de agua	Definición
Fuentes de agua dulce	
<i>Agua subterránea</i>	Hace referencia a las aguas bajo la superficie terrestres, y que a mayores profundidades puede permanecer oculta durante millones de años, pero la mayoría de sus yacimientos están a poca profundidad. Esta fuente de agua supone la mayor reserva de agua potable en las regiones habitables, la calidad agua es variable y es mejor utilizarla en sistemas abiertos. ^a

Aguas superficial

Según estudios realizados por (Torres et al., 2009), afirma que esta agua hace referencia a aguas de canales, ríos y estanques, las mismas que están sometidas a contaminación natural ya sea por presencia de materia orgánica natural, material particulado y material disuelto, de igual manera están sometidas a contaminación de origen antrópico que pueden presentarse como aguas residuales domésticas, escorrentía agrícola, aguas residuales industriales, entre otros.

*Aguas residuales urbanas
depuradas (Aguas Grises)*

Esta fuente de agua, provienen de reutilizar las aguas residuales urbanas, que una vez depuradas sirven para riego de cultivos, dando a los terrenos efluentes que experimentar una mejora en la calidad del discurrir vertical a través de los terrenos. Es importante tener en cuenta que las aguas grises no son reutilizables de inmediata, debido a que se terminan incorporando a los acuíferos y se infiltran en el terreno. ^b

Agua reutilizada

Agua de lixiviado

Hace referencia al exceso de solución nutritiva lo cual es asociado al sobre-riego. El volumen lixiviado (solución nutritiva), se puede ver afectado por la periodicidad de riego (etapa vegetativa, otoño e invierno), y se ve más afectado por las bajo condiciones de invernadero. ^c

Agua de drenaje

Este tipo de agua es recolectada cuando pasa a través del suelo del invernadero, la misma que puede reciclarse como fuente de agua, por lo que es apta para sistemas cerrados. ^d

Nota: Fuentes de aguas dulce y reutilizada con su respectiva definición. ^a(Ambientum, s/f).

^b(Alianza por el agua, 2008). ^c(Yescas et al., 2011). ^d(FERTINNOWA, 2018). Elaborado por:

Los autores

2.2.1 Aguas residuales

Según (Díaz et al., 2012) y (Rubiano, 2019), afirman que el agua residual es la acción y efecto en la que el hombre introduce materias contaminantes, en forma de energía e induce condiciones en el agua de modo directo o indirecto; implicando alteraciones perjudiciales en su calidad con relación a los usos posteriores o con su función ecológica. (WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas), 2017) afirmo lo siguiente:

Pero en la actualidad las aguas residuales deben ser consideradas un recurso, ya que pueden ser una fuente rentable y sostenible de energía, nutrientes y materia orgánica, entre otros subproductos útiles. Los potenciales beneficios de la extracción de dichos recursos van mucho más allá de la salud humana y medioambiental, con posibles repercusiones en la seguridad alimentaria y energética, así como también en la mitigación del cambio climático. Las aguas residuales en el contexto de una economía circular, constituyen un recurso abundante y valioso, ya que dicha economía busca un equilibrio entre el desarrollo económico, la protección de los recursos naturales y la sostenibilidad ambiental. (p.17-20)

2.2.2 Fuentes de aguas residuales

Se sabe que estadísticamente las aguas residuales están compuestas aproximadamente en un 99% de agua y en un 1% de sólidos en suspensión, coloidales y disueltos por lo cual es importante tener en cuenta la composición que poseen las aguas residuales ya que esta va a variar según las diferentes fuentes y a lo largo del tiempo. Existen distintas fuentes de aguas residuales

que pueden presentar otros tipos de componentes en concentraciones variables (WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas), 2017).

Según , (Díaz et al., 2012) las aguas residuales provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y urbanas.

Tabla 3

Fuentes de aguas residuales y definiciones

Fuentes de aguas residuales	Definición
	De acuerdo con (Mara, 1976) , las aguas residuales domesticas son a aquellas que son utilizadas con fines higiénicos entre los que podemos encontrar ala de los baños, cocinas y lavanderías , estas son consideradas fundamentalmente porque contiene residuos humanos, los mismo que desembocan en las redes de alcantarillado, por medio de descargas de instalaciones hidráulicas de la edificación al igual que en establecimientos comerciales, públicos o similares.
Domestica	(Díaz et al., 2012), menciona que las aguas residuales domésticas están constituidas en un elevado porcentaje (en peso por agua), alrededor del 99,9 % y apenas 0,1 % son sólidos suspendidos, coloidales y disueltos, esta pequeña fracción de sólidos es el mayor problemas en su tratamiento y su disposición. En este tipo de agua la mayor parte de la materia orgánica son residuos alimenticios, material vegetal, fecal, cales minerales, materiales orgánicos y detergente sintéticos.

Industrial

De acuerdo con (Rodríguez et al., 2006), son todas las aguas vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice agua, incluyéndose los líquidos residuales, aguas de proceso y de refrigeración, y que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.

Urbana

En la actualidad se acostumbra a denominarlas también como aguas negras a las aguas residuales provenientes de inodoros, las cuales transportan excrementos humanos y orinas, los cuales son ricos en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales (Rodríguez et al., 2006).

Nota: Fuentes típicas de aguas residuales. Elaborado por: Los autores

2.2.3 Caracterización de componentes de agua residual

El agua residual está compuesta de componentes físicos, químicos y biológicos; este tipo de agua es una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos.

2.2.4 Parámetros físicos

Estos parámetros permiten determinar el tipo de agua y su estado de manera cualitativa.

2.2.4.1 Color.

Este parámetro puede ser de dos tipos: color verdadero y aparente. En el color verdadero se caracteriza por las sustancias disueltas una vez eliminada la turbiedad, mientras que el color aparente resulta de las sustancias disueltas “material en suspensión”. También se conocen colores reales aparentes que son idénticos en el agua clara y de turbidez muy débil (Zhen Wu, 2009).

2.2.4.2 Sólidos totales.

Según (Lizana, 2018), los sólidos totales están conformados por distintos sólidos que son clasificados por su tamaño:

- *Sólidos suspendidos*

Conocidos también como sólidos no filtrables, poseen un tamaño de partícula superior a 1,0 μm dichas partículas producen turbidez en el agua y son retenidas por filtración. (p.27)

- *Sólidos disueltos*

Conocidos como sólidos filtrables, los cuales se obtienen después de evaporar una muestra previamente filtrada con un filtro de 1,0 μm . (p.27)

- *Sólidos sedimentables*

Son partículas de características orgánicas y biológicas, cuyo tamaño es mayor a 10 μm , dichas partículas se pueden evidenciar cuando se depositan en un depósito cónico llamado “cono de Imhoff” de 1 Litro y durante 1 hora. (p.27)

2.2.4.3 Conductividad eléctrica.

Según (Zhen Wu, 2009), “la capacidad que tiene el agua para transportar una corriente eléctrica. Por medio de la conductividad eléctrica de los iones en una disolución se puede identificar la presencia de filtración o descarga de aguas geotérmicas en manantiales superficiales”. (p.10).

2.2.4.4 Potencial de hidrogeno “pH”.

El pH es una medida del contenido de ion hidrogeno en un medio acuoso. La medición de este parámetro expresa la concentración de acidez, basicidad o alcalinidad, es decir el pH indica la fuerza que estos tienen en la solución analizada. Si el pH va de 0-7 es ácido, es decir que existe presencia de ácidos libres o sales ácidas, si el pH es igual a 7 es neutral, mostrando que no tiene ni sales ácidas o básicas, solo contiene sales neutras y si presenta pH de 7-14 el agua es básica o alcalina con presencia de sales básicas (Rodie et al., 2011).

2.2.4.5 Turbidez.

Según (Frías y Montilla, 2016), “es el parámetro físico que identifica la presencia de materiales en suspensión (limo, arcilla, materia orgánica, partículas de sílice, entre otros), la abundancia de este material se da por el grado de turbidez.(p.21).

2.2.5 Características químicas

2.2.5.1 Demanda química de oxígeno.

De acuerdo con (Frías y Montilla, 2016), este parámetro se encarga de la medición de la cantidad requerida, para la oxidación química de la materia orgánica e inorgánica en el agua. “El valor de la DQO, es siempre mayor al de la DBO₅ y ambas, se expresan en mg/L”. (p.23).

Según (Encinas, 2011), se sabe que la DQO se emplea para la medición del contenido de la materia orgánica de aguas naturales o residuales con ayuda de reacciones estrictamente químicas. “La DQO representa a la cantidad de oxígeno disuelto que se necesita para la oxidación química de toda la materia orgánica y esta se logra medir mediante la valoración del

exceso de oxidante añadido a la muestra, la calidad del agua siempre variara en función de los resultados obtenidos como se puede visualizar en la Tabla 4”. (p.47).

Tabla 4

Identificación de calidad de agua a diferentes valores de DQO

DQO	Calidad de Agua
1-5 ppm	No contaminada
< 50 ppm	Poco Contaminada
250-600 ppm	Residual doméstica

Nota: Calidad del agua en diferentes rangos de DQO .Elaborado por: Los autores con información obtenida de (Encinas, 2011).

2.2.5.2 Aluminio.

De acuerdo con (Weerg, 2020), el aluminio es un químico que se encuentra de forma natural con un porcentaje de alrededor del 8%. Debido a su versatilidad actualmente es el segundo mineral utilizado a nivel mundial después del hierro. “El aluminio es un metal que no se encuentre puro en el medio, se lo puede encontrar en dos formas minerales o rocas compuestas (arcillas, caolines o feldespatos). Un gran ejemplo de estas formas es la bauxita, que es una roca que posee aluminio (20-30% en masa), ya que en su composición posee óxidos hidratados de aluminio”.

Según (New Jersey Department of Health and Senior Services, 2007)

- El aluminio es un metal maleable o lamina de color gris brillante.
- Es un metal que está sujeto a reglamentos de la OSHA, NIOSH y ACGIH

- Es inflamable en forma de polvo y está dentro de la lista de sustancias extremadamente peligrosas para la salud.
- El aluminio al exponerse al aire y a la humedad, forma una capa de óxido que protege la superficie de una mayor oxidación.
- Es un conductor de electricidad y calor excelente
- El aluminio liso posee una alta reflectividad, reflejando el 80% de la luz y el 90% del calor que entra en contacto con su superficie.

2.2.5.3 Cadmio.

El cadmio es un metal muy resistente a la corrosión y, que en la actualidad apenas el 8 % de todo el cadmio refinado se utiliza para el galvanizado y los recubrimientos. Existen diversas sales de cadmio. Según (Nordberg, 2001) las más importantes son:

- El estereato de cadmio: sirve para la estabilización térmica en los plásticos de PVC (cloruro de polivinilo). (p. 63.10)
- El sulfuro de cadmio - sulfoseleniuro de cadmio: utilizado como pigmentos amarillo y rojo en plásticos y tintes. (p. 63.10)
- El sulfuro de cadmio: empleado en células solares y fotográficas. (p. 63.10)
- El cloruro de cadmio: es empleado como fungicida, elemento de los baños galvanoplásticos, colorante en pirotecnia y aditivo para soluciones de estañado. (p. 63.10)
- El óxido de cadmio: utilizado como agente para galvanoplastia. materia prima para los estabilizadores térmicos de PVC y componente de las aleaciones de plata, endurecimiento de cristales o el vitrificado de cerámica. (p. 63.10)

2.2.5.4 Cobalto.

Es un metal que pertenece al grupo IX de la tabla periódica, posee un número atómico ($Z=27$), su peso atómico es de 58,9332 g y una densidad de 8,90 g/cm³. Se han identificado más de doscientos minerales que apenas un porcentaje muy pequeño poseen características de valor comercial o industrial. Este metal se puede asociar con níquel, cobre o plomo. Entre los minerales más importantes que contiene cobalto son la cobaltita, CoAsS, la safflorita, CoAs₂, y la linneita, Co₃S₄. La producción de cobalto está relacionada directamente con el cobre y níquel, de cuyos procesos metalúrgicos el cobalto es un subproducto (Baran, 2018).

2.2.5.5 Cobre.

Su símbolo es Cu y, es considerado un metal maleable y dúctil, posee una excelente conductividad de calor y la electricidad. De acuerdo con (Nordberg, 2001). Cuando el cobre “entra en contacto con la atmósfera húmeda puede llegar a forma de anhídridos carbónicos y es un metal esencial dentro del metabolismo humano. Gracias a sus propiedades eléctricas alrededor del 75 % del cobre se utiliza en la industria eléctrica, fabricación de cañerías para el agua, material para techumbres, baterías de cocina, equipos químicos y farmacéuticos y producción de aleaciones de cobre”. (p. 63.14).

2.2.5.6 Cromo.

El cromo es un elemento esencial tanto para humanos como animales debido a sus funciones en el metabolismo de la insulina, como factor de tolerancia a la glucosa. Se encuentra presente en la corteza terrestre alrededor de 1000 mg/kg. Posee varios estados de oxidación, pero los estados de oxidación 0, +3 y +6 son los más importantes de manera comercial y en el medio

ambiente. De forma trivalente pertenece a la mayoría de los materiales biológicos, asociado fuertemente con proteínas, ácidos nucleicos (Alvarado et al., 2002).

2.2.5.7 Níquel.

Es un elemento natural y abundante, de color blanco/plateado, duro y que puede formar aleaciones con otros metales como el cobre, cromo, hierro y zinc. La mayor parte de este metal es empleado en la fábrica de acero inoxidable. Es un metal cuya densidad es de $8,902 \text{ g/cm}^3$, este metal forma compuestos con un estado de oxidación de +1, +2, +3 y +4, siendo este último estado de oxidación el raro e inestable. Varios compuestos de níquel se disuelven con facilidad en agua dando como color verde. Los compuestos de níquel se usan en niquelado, para colorear cerámicas y para fabricar baterías. El níquel se encuentra en todos los suelos liberados por emisiones volcánicas (San Martín, 2019).

2.2.5.8 Plomo.

Según (Ubillus, 2003), establece que es un metal de color gris azulado, es muy maleable y es el menos tenaz de todos los metales, debido a que posee una gran densidad y punto de fusión bajo.

Sus características físicas principales son:

- Es uno de los metales con mayor densidad, es el más alto dentro de la familia IV A, se convierte en un metal denso tóxico y acumulativo.
- Posee un peso atómico de $207,21 \text{ g/mol}$, número atómico 82 y símbolo "Pb".
- Estado físico: sólido grisáceo. Estado de oxidación +2 y +4

Sus características químicas principales son:

- En contacto con el aire se oxida superficialmente

- Cuando esta recién fundido se oxida en forma de PbO “masicot”

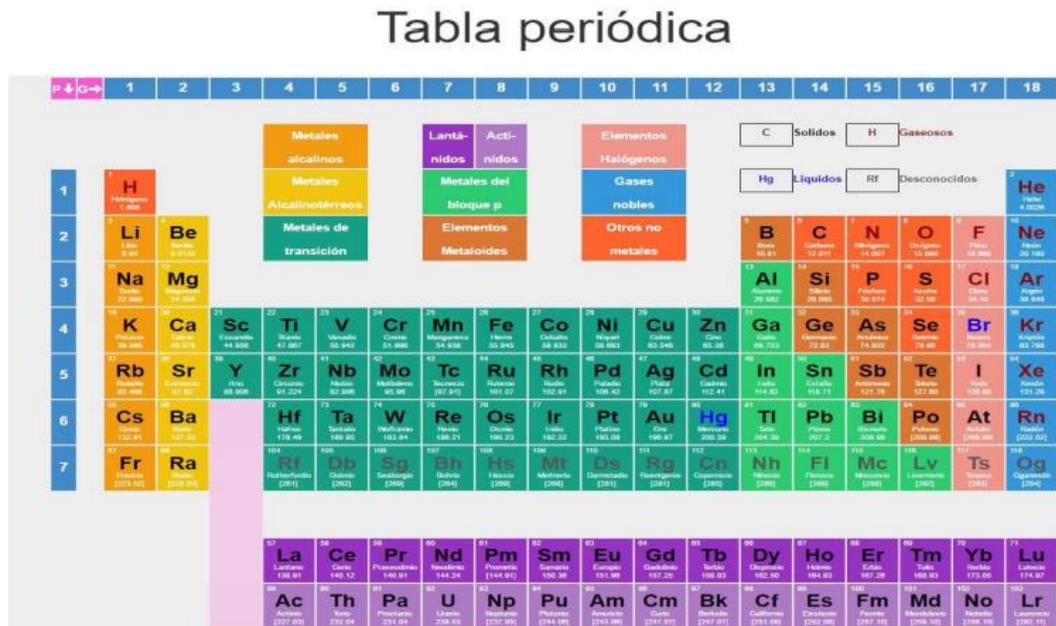
2.3 Generalidades de metales pesados

Según (Ferré et al., 2007), los metales son componentes naturales que se encuentran presentes en la corteza terrestre, algunos son oligoelementos que son imprescindibles para el mantenimiento de los sistemas bioquímicos de los seres vivos, como lo es el plomo, el cobre, el manganeso y zinc los cuales son esenciales dentro del metabolismo de los mamíferos, pero a pesar de esto también pueden actuar como potentes elementos tóxicos, para los seres humanos y los ecosistemas, es importante tener en cuenta que dicha toxicidad dependerá según sean sus vías de exposición, la dosis absorbida y la naturaleza química del metal (p. 51-52). Los metales pesados, según (Pabón et al., 2020) son :

“Los que se encuentran en la tabla periódica como elementos químicos de alta densidad (mayor a 4 g/cm^3), masa y peso atómico por encima de 20 y son tóxicos en concentraciones bajas. Algunos de estos elementos son aluminio (Al), berilio (Be), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), entre otros”. (p.9-10)

Figura 2:

Tabla periódica



Nota: El gráfico representa de división de la tabla periódica. Tomada de (Goetschel, 2018).

2.3.1 Efectos potenciales e impactos medio ambientales y salud humana de los metales pesados “Al, Cd, Co, Cu, Cr, Ni y Pb”

Se destaca que en la actualidad uno de los mayores problemas ambientales es la contaminación de las fuentes hídricas por metales pesados, debido a la toxicidad que presentan los metales en esta fuente. De acuerdo con (Pabón et al., 2020), dentro de los principales factores que afectan a los ecosistemas por contaminación de metales pesados, se encuentran las actividades humanas, en donde se destacan las actividades industriales (sector minero y de fundición) y urbanas.(p.10).

2.3.1.1 Aluminio.

Las principales afectaciones del aluminio en el medio ambiente, según (*Aluminio y bauxita: impacto socioambiental y alternativas de consumo*, 2018) se ve reflejado en los siguientes puntos:

- El aluminio no es un mineral que se encuentra puro, ya que se encuentra presente en otros minerales o rocas compuestas como la bauxita. La extracción de la bauxita se da por medio de minas abiertas, cuyo impacto en el medio es más grave que en mina subterránea, debido a que esta extracción causa erosión en el suelo y elimina toda la flora, afectando también a la fauna de ese entorno (*Aluminio y bauxita: impacto socioambiental y alternativas de consumo*, 2018).
- La contaminación de la industria del aluminio es inmensa debido a que arroja millones de toneladas al año de gases de efecto invernadero, (dióxido de carbono), y gases de la lluvia ácida (óxido de azufre y el óxido de nitrógeno) (*Aluminio y bauxita: impacto socioambiental y alternativas de consumo*, 2018).
- De manera indirecta causa la deforestación de la zona cercana a las minas, debido a la creación de caminos de acceso. (*Aluminio y bauxita: impacto socioambiental y alternativas de consumo*, 2018)

Las principales afectaciones del aluminio en el ser humano, según (New Jersey Department of Health and Senior Services, 2007), se ve reflejado en los siguientes puntos:

- La explosión a este metal de manera directa puede causar irritación cuando entra en contacto con la piel y ojos.
- Puede llegar a causar fiebre parecida a la influenza, dolores de cabeza, escalofríos, dolores y opresión en el pecho acompañado de tos.
- Los síntomas por intoxicación de aluminio aparecen después de varias horas y tiene un tiempo de duración de 1-2 días

2.3.1.2 Cadmio.

El cadmio en el medio ambiente, según (Beltrán y Gómez, 2015) puede llegar a causa:

- Provoca la disminución de la tasa de germinación de semillas y crecimiento general de las plantas. Debido a que provoca la producción de fitoquelatinas.
- Produce interferencia en el establecimiento de la simbiosis (microorganismos-plantas).
- Ocasiona el incremento de la predisposición de las plantas a la invasión por hongos.

El cadmio en la salud humana, según (Reyes et al., 2016) puede afectar de la siguiente manera:

- Ocasiona problemas gastrointestinales, respiratorios y efectos nocivos en los órganos como el corazón, cerebro, riñón, hígado, huesos.
- El cadmio posee la capacidad de acumularse en estos órganos vitales produciendo daños irreversibles, el tiempo de vida media del cadmio en el riñón puede alcanzar los 30 años.

2.3.1.3 Cobalto.

El cobalto en el medio ambiente, según (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2004) puede llegar a causa:

- Es importante tener en cuenta que el cobalto no puede ser destruido en el ambiente, solamente puede cambiar de forma, adherirse o separarse en forma de partículas. (p.3)
- En las plantas, el cobalto se acumula en cantidades muy pequeñas, especialmente en las partes comestibles de la planta como por ejemplo la fruta, los granos y las semillas. Pero los animales que ingieren estas plantas acumularán cobalto, aumentando la concentración del mismo a lo largo de la cadena alimentaria (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2004). (p.4)
- Los estudios en animales sugieren que la exposición a altas cantidades de cobalto no radioactivo durante la gestación puede afectar la salud del feto. (p.4)

El cobalto en la salud humana, según (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2004) puede afectar de la siguiente manera:

- Si el cuerpo absorbe demasiado cobalto pueden ocurrir efectos perjudiciales como dificultades para respirar, daños graves del pulmón, incluyendo pulmonía y jadeo, también puede producirse asma y salpullido en la piel. (p.7)
- La exposición al cobalto radioactivo causara que las células en el cuerpo puedan ser dañadas por los rayos gama. (p.8)
- La exposición a niveles de radiación más bajos puede producir náusea, mientras que los niveles más altos pueden producir vómitos, diarrea, hemorragias, coma y aun la muerte. (p.8)

2.3.1.4 Cobre.

El cobre es un elemento esencial, pero en niveles elevados puede resultar muy tóxico, según (Catalá, 2015) causa impactos significativos tanto para el ser humano como para el medio ambiente, que se presentan a continuación:

Medio ambiente

- Es causado principalmente por las actividades mineras, actividades industriales y residuos domésticos, seguido de la aplicación de fertilizantes, alguicidas, y fungicidas
- Según (Catalá, 2015), en altas concentraciones es tóxico para los organismos, y su efecto es fuerte en plantas y peces.
 - En plantas: produce lesiones en las raíces, inhibe el crecimiento radicular y promueve la formación de raicillas secundarias cortas de color pardo.
 - En peces: los iones de cobre interrumpen la regulación del sodio.
 - Mamíferos: produce daño en el hígado

Ser Humano

- Causa enfermedades cardiovasculares, enfermedades neurológicas debido a que las personas con concentraciones más altas de cobre en la sangre tienen un mayor riesgo de presentar enfermedades neurológicas “Alzheimer” (National Institute of Health, 2019).
- Al ingerir demasiado cobre puede ser nocivo ya que causa lesión hepática, dolor abdominal, calambres, náuseas, diarrea y vómito (National Institute of Health, 2019).

2.3.1.5 Cromo.

Las principales afectaciones del cromo en el medio ambiente, según (Alvarez y Proaño, 2006) se ve reflejado en los siguientes puntos:

- Afecta a las plantas desde concentraciones de 5 mg/dm^3 , causando desequilibrio de los nutrientes internos de las plantas, evidenciándose alteración en los procesos metabólicos.
- En la vida acuática inhibe el crecimiento de las algas debido a que la mayoría de estas no resiste concentraciones superiores a 65 mg/L , y se evidencia una disminución de la capacidad de autodepuración de las aguas. (p.34)
- El cromo a partir de $1,0 \text{ mg /dm}^3$ tiene efectos letales en peces, moluscos y crustáceos, debido a que estos pueden acumular concentraciones de hasta 400 veces por encima de niveles permisibles; causando un envenenamiento agudo en aquellos animales o seres humanos que los utilizan como alimento. (p.34)
- La presencia de cromo en aguas residuales sometidas a tratamiento biológico provoca una disminución en el rendimiento de la depuración. (p.34)

Las principales afectaciones del cromo en el ser humano, según (Alvarez y Proaño, 2006) se ve reflejado en los siguientes puntos:

- El cromo con valencia 3 es menos tóxico, pero en exposiciones prolongadas causa problemas en la piel. (p.33)

- El cromo con valencia 6 es más tóxico, ya que es carcinogénico, corroe tejidos, produce dermatitis por contacto prolongado, mientras que por inhalación afecta hígado, riñones y sistema digestivo. (p.33)

2.3.1.6 Níquel.

Según (Krieger, 2018), las principales afectaciones al medio ambiente son las siguientes:

- Entre los principales problemas que causa el níquel a nivel ambiental está la emisión de gases de efecto invernadero, destrucción del hábitat y contaminación del aire, agua y suelo.
- Es el séptimo metal más dañino para la salud humana y los ecosistemas, además posee el noveno potencial de calentamiento global más alto.
- El aumento de la demanda mundial de níquel ha causado la destrucción de la vegetación nativa y la contaminación de grandes extensiones de tierra con desechos y pérdida de diversidad.
- Los problemas más comunes de contaminación ambiental son las emisiones a la atmósfera de dióxido de azufre que causa lluvia ácida, el drenaje ácido de minas y contaminación por metales pesados en suelo y agua.

Según (San Martín, 2019) afirma que, las principales afectaciones en la salud humana que causa el níquel es:

- En grandes cantidades en el cuerpo se producen trastornos estomacales e intestinales, y aumenta el contenido de glóbulos rojos. (p.13)
- Puede causar bronquitis crónica, estrés renal y deterioro de la función pulmonar y en el peor de los casos cáncer de pulmón. (p.13)
- Debido a que este metal se encuentra en el cigarrillo, la inhalación de este humo o polvo conduce a la bronquitis y al deterioro de la función pulmonar. (p.13)

2.3.1.7 Plomo

Las principales afectaciones del plomo en el ser humano, según (Reyes et al., 2016) se ve reflejado en los siguientes puntos:

- El plomo es absorbido por inhalación, ingestión y a través de la piel. (p. 68)
- La intoxicación por plomo varía de acuerdo a la edad de la persona y su nivel de exposición (p. 69).
- Existen 2 vías de exposición de este metal la primera; la inhalación de partículas de plomo generadas por combustión de algunos materiales; y la segunda la ingestión de polvo, agua o alimentos contaminados (OMS, 2021).
- Tiende a distribuirse en diferentes órganos, tejidos, huesos y dientes, donde se va acumulando con el paso del tiempo (Sanin et al., 1998).

Las principales afectaciones del plomo en el medio ambiente, según (Vallés et al., 2018) se ve reflejado en los siguientes puntos:

- Es importante tener en cuenta que el plomo se encuentra de manera natural en la corteza terrestre de 1,3 ppm (Vallés et al., 2018).
- La contaminación por plomo elemental como de sus compuestos, se quedan en suspensión y pueden ser transportados, dicha contaminación afecta a la atmósfera, al suelo y al agua. Las emisiones de plomo más importantes son por la industria metalúrgica (Vallés et al., 2018).
- En la actualidad las mayores fuentes de contaminación son las baterías de coche, los perdigones de caza y los contrapesos utilizados en la pesca (Vallés et al., 2018).

2.4 Tratamiento de agua residuales por procesos químicos.

Los tratamientos fisicoquímicos utilizados en el agua y aguas residuales se pueden lograr mediante métodos químicos y medios eléctricos. La coagulación y la floculación ocurren en sucesivas medidas destinadas a vencer las fuerzas que estabilizan las partículas suspendidas, lo que permite la colisión de partículas y crecimiento de flóculos.

2.4.1 Precipitación química

La precipitación química de acuerdo a (Wang et al., 2005), se utiliza para eliminar los constituyentes iónicos del agua mediante la adición de contraiones para reducir la solubilidad. Se utiliza principalmente para la eliminación de cationes metálicos, pero también para la eliminación de aniones como fluoruro, cianuro y fosfato, así como moléculas orgánicas como la precipitación de fenoles y aminas aromáticas por enzimas y detergentes y emulsiones oleosas por cloruro de bario.

Es importante tener en cuenta que la precipitación es un proceso mediante el cual se eliminan sustancia disuelta no deseables, por adición de una sustancia que forme un compuesto insoluble con el mismo, facilitando así su eliminación por cualquiera de los métodos para la eliminación de la materia en suspensión los cuales son desbaste sedimentación, filtración, flotación, y coagulación-floculación (Wang et al., 2005). Algunos Los autores incluyen en este apartado la coagulación-floculación, según (Rodríguez et al., 2006), “el reactivo de uso más frecuente en este tipo de operaciones es el calcio (Ca^{2+}), esto debido a la gran cantidad de sales insolubles que forma y es de uso tanto para aguas residuales urbanas y muchas industriales que posean características parecidas”. (p.24).

Los principales procesos de precipitación incluyen ablandamiento, estabilización del agua, eliminación metales pesados y de fosfato. El ablandamiento del agua implica la eliminación de divalentes especies catiónicas, principalmente iones de calcio y magnesio. La remoción de metales pesados es más ampliamente practicada en la industria del revestimiento de metales, donde las sales solubles de cadmio, cromo, cobre, níquel, plomo, zinc y muchos otros deben eliminarse y posiblemente recuperarse. La eliminación de fosfatos de las aguas residuales se usa para proteger la superficie receptora de aguas de la eutrofización (crecimiento vegetal estimulado por la adición de nutrientes) (J. C. Morales et al., 2021).

2.4.1.1 Coagulación.

La coagulación química es la técnica comprobada para el tratamiento de la alta suspensión de aguas residuales sólidas especialmente aquellas formadas por materias coloidales. De acuerdo a (Ahmad et al., 2008), la coagulación es inducida principalmente por cloruros de

aluminio y hierro, polisulfatos, sales metálicas inorgánicas, y polielectrólitos de diversas estructuras, p. poliacrilamidas, polisacáridos, polivinilo entre otros.

La coagulación se define según (Sahu y Chaudhari, 2013), como la adición de un ion cargado positivamente de sal metálica o polielectrólito catalítico que da como resultado partículas de desestabilización y neutralización de carga. Esta se dirige a las partículas coloides debido a que ayudan a mejorar la formación de flóculos más grandes para mejorar la velocidad de sedimentación

2.4.1.2 Floculación.

Según (Gane et al., 2012), afirma que la floculación hace referencia al proceso en el que compuestos disueltos y/o partículas coloidales se eliminan en forma de “copos” y particulados finos “aglomeradas”, dichos copos pueden flotar hasta la parte superior del líquido, o a su vez asentarse en el fondo del líquido, o pueden filtrarse fácilmente con respecto al líquido.

Tabla 5

Coagulantes, floculantes y polielectrólitos en precipitación química

Producto químico	Definición
Sales de Fe^{3+}	Comúnmente se usa $FeCl_3$ (cloruro férrico), $Fe_2(SO_4)_3$ (Sulfato de Hierro III), estos son los más usados en este grupo debido a su semejante eficiencia. Estas sales pueden estar en estado sólido como en disoluciones. La utilización de una u otra está en función del anión, si no se desea la presencia de cloruros o sulfatos.

Sales de Al^{3+}	La más común de estas sales es el $Al_2(SO_4)_3$ (sulfato de aluminio) el cual es más manejable en disolución y, el policloruro de aluminio presenta un mayor porcentaje de aluminio por kg de dosificación.
Polieléctrolitos	Estos pueden presentarse en 2 formas naturales o sintéticas, no iónicos “poliacrilamidas”, los anicónicos “ácidos poliacrílicos” o catiónicos “polivinilaminas”. Las cantidades a dosificar son mucho menores que para las sales, pero la eficacia y el costo mayor.

Nota: La combinación adecuada de los 3 componentes presentes en la tabla ayuda obtener mejor porcentaje de remoción de metales pesados. Elaborado por: Los autores con información obtenida de (Rodríguez et al., 2006).

2.4.1.3 Sedimentación.

Esta etapa es mejor conocida como “etapa natural”, debido a que las partículas más pesadas de agua que se encuentran en suspensión, son removidas por acción de la gravedad. Durante este proceso también conocido como decantación, se pueden encontrar tres tipos de partículas, según (Rojas y Bazurto, 2020) son:

- Suspensiones: diámetros hasta 10^{-4} cm
- Coloides: diámetros entre 10^{-4} y 10^{-6} cm
- Soluciones: diámetros menos a 10^{-6} cm

2.5 Industria de recubrimiento electroquímico

El principio de los métodos de recubrimientos electrolíticos o químicos, es también denominados galvánicos, de acuerdo con (Melendez y Milla, 2006) “en esta industria el principio

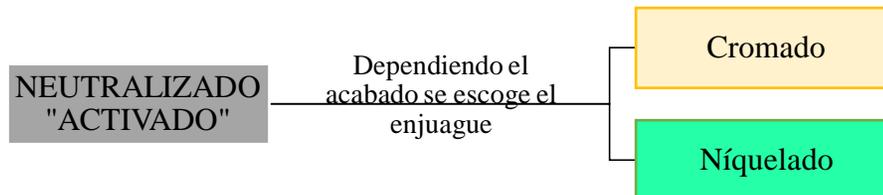
de funcionamiento consiste en depositar por vía electroquímica, finas capas de metal sobre la pieza sumergida, en una solución de agua con iones metálicos o electrolito, al conectar una fuente externa de corriente directa”. (p.2).

2.5.1 Procesos de recubrimientos electrolíticos

El principio básico de estos procesos según (Melendez y Milla, 2006), “consiste en la conversión del metal del ánodo en iones metálicos que se distribuyen en la solución. Los iones se depositan en el cátodo es decir la pieza que será recubierta formando de esta manera una capa metálica en su superficie. El recubrimiento electrolítico de las piezas se produce exclusivamente por inmersión en un baño o enjuague”. (p.2). A continuación, se presenta una descripción de los baños de recubrimiento electroquímico más comunes:

Figura 3

Diagrama del proceso de recubrimiento electrolítico



Nota: El gráfico representa el diagrama de proceso que la industria sigue para realizar los distintos enjuagues dentro del recubrimiento electrolítico. Elaborado por: Los autores

2.5.1.1 Neutralizado.

Este proceso es también conocido como proceso de activado o decapado suave, en el cual se encarga de la eliminación de la pequeña capa de óxido que se ha formado sobre la superficie del metal. Esa pequeña capa de óxido hace que la superficie sea pasiva (mala conductora). Este proceso por lo general emplea soluciones de ácidos muy diluidos, permitiendo de esta manera eliminar velos y manchas generados por compuestos orgánicos y/o inorgánicos (Alvarez y Proaño, 2006).

Figura 4

Enjuague neutralizante



Nota: El grafico representa el enjuague neutralizante. Elaborado por: Los autores

2.5.1.2 Niquelado.

Este enjuague es un procedimiento de metalización que según (Melendez y Milla, 2006), se lleva a cabo con el fin de proteger la parte superficial de las piezas ya sean decorativas o de

recubrimiento previo antes del cromado. Es importante tener en cuenta que los objetos de cobre y aleaciones de cobre se niquelan directamente. (p.12).

Dentro de este procedimiento “se agregan aditivos como abrillantadores que en su mayoría son orgánicos y regularmente no forman complejos, estos se emplean con la finalidad de disminuir la tensión superficial del enjuague y a su vez aportar una superficie semibrillante/brillante al recubrimiento, lo que ayuda a que dichas piezas pasen por un proceso de pulido posterior del recubrimiento de níquel”. (p.12).

En los enjuagues de níquel “se realiza una dilatación continuamente por lo que se generan residuos de filtración, concentrados al cambiar los baños de níquel y pérdida de la solución del baño en el arrastre hacia los enjuagues siguientes”. (p.12).

Figura 5

Enjuague de níquel



Nota: El grafico representa el enjuague de níquel. Elaborado por: Los autores

2.5.1.3 Cromado.

El enjuague de cromo se utiliza principalmente en recubrimientos decorativos posteriores a recubrimientos protectores de cobre y/o níquel sobre todos los metales de base, este enjuague mejora la lubricación, resistencia al desgaste y a la corrosión de las piezas. Después de este procedimiento, las piezas son lavadas en un enjuague permanente o de recuperación y después en uno o dos enjuagues en cascada., los principales residuos generados en el procedimiento son los lodos de concentrado, aguas de enjuague contaminadas por arrastres, emisiones y lodos del sistema de tratamiento (Melendez y Milla, 2006).

Es importante tener en cuenta que durante el proceso de cromado ocurre un sobrepotencial en la capa superficial de la pieza a cromar, a causa de reacciones de óxido-reducción y diferencias de concentración, lo que genera una separación simultánea de hidrógeno que el baño emite como gas y que arrastra fracciones del baño (Melendez y Milla, 2006).

En el recubrimiento con cromo se distinguen dos procesos:

- **Cromado brillante (cromado decorativo):** Este proceso consiste en colocar capas de cromo delgadas y brillantes de efecto decorativo o como protección anticorrosiva, sobre capas intermedias de níquel.
- **Cromado duro (cromado industrial):** Dentro de este proceso se tiene como objetivo principal aumentar la dureza de herramientas, incrementar la resistencia al desgaste de

moldes y válvulas, mediante el depositando capas de cromo de mayor espesor a temperaturas elevadas.

Figura 6

Enjuague de cromo



Nota: El grafico representa el enjuague de cromo . Elaborado por: Los autores

2.6 Marco Legal

Tabla 6

Normativa ambiental vigente aplicable

Normativa ambiental	Artículos
	<p>Según(Constitución de la República del Ecuador, 2008), se consideró los siguientes artículos:</p> <p>Art. 264.- Los gobiernos municipales tendrá las competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley, numeral 4:</p> <p>“Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley”. (p.130).</p>
Constitución de la República del Ecuador	<p>Art. 318.- “El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua”. (p.160).</p> <p>Art. 412.- “La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque eco sistémico”. (p.193)</p>
Acuerdo Ministerial 097/A	<p>Según,(MAAE-Acuerdo Ministerial 097-A, 2015), se consideró el Anexo 1: Libro VI Del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, la Tabla 8, en la cual están plasmados dos Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público (Anexo 1). (p.20).</p>

Nota: Normativa ambiental aplicable en el estudio. Elaborado por: Los autores.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Reactivos y equipos

Tabla 7

Reactivos usados para prueba de jarras

Reactivo	Formula Molecular
PAC (Policloruro de aluminio)	PAC
Cloruro férrico	FeCl ₃
Sulfato de aluminio	Al ₂ (SO ₄) ₃
Lejía	NaClO
Poliacrilamida catiónica	PAM-C
Poliacrilamida aniónica	PAM-A
Sulfito de sodio	Na ₂ (SO ₃)
Metabisulfito de sodio	Na ₂ S ₂ O ₅
Hidróxido de calcio	Ca(OH) ₂
Hidróxido de sodio 0,1 M	Na(OH)
Ácido sulfúrico 1M	H ₂ SO ₄

Nota: Reactivos empleados para el tratamiento de los enjuagues del agua residual industrial, así como otros agentes precipitantes. Elaborado por: Los autores

Tabla 8

Estándares usados para la determinación de metales

Estándar	Fórmula molecular
Copper HR*	HI93702-01
Chromium VI HR*	HI93723-01
Aluminium reagent A,B,C*	HI93712A-01
DQO-COD HR reagent vials*	HI93754C-25
Nickel HR	HI93726-01
Cadmio**	AA08N-1
Cobalto**	2150342-LM
Plomo**	AAPB1

Nota: Estos estándares son empleados para el * fotómetro multiparámetro y **espectrofotómetro de absorción atómica. Elaborado por: Los autores

Materiales y equipos usados para la fase de análisis se detallan en las Tablas 9 y 10

Tabla 9*Materiales utilizados*

Material	Cantidad	Volumen
Pipeta	2	5-10 mL
Cono inhoff	3	1000 mL
Probeta	1	100 mL
Jeringas	3	1 mL
Embudo de precipitación	3	500 mL
Vaso de precipitación	6	1000 mL
Frasco ámbar	2	500 mL
Frascos de vidrio	14	350 mL
Vaso de precipitación	1	400 mL
Espátula de laboratorio	1	-
Bomba de pipeta	1	-
Piseta	1	-
Varilla de vidrio	1	-
Gradilla	1	-
Vidrio reloj	3	-
Soporte universal	3	-
Papel toalla	1	-
Papel filtro	1	-
Micropipeta	1	1-50 uL
Balón volumétrico	3	50 mL

Nota: Materiales de laboratorio empleados para los análisis de parámetros de calidad de agua

Elaborado por: Los autores

Tabla 10*Equipos utilizados*

Equipo	Marca	Modelo
Balanza analítica	Mettler Toledo	ME104
Prueba de jarras	VelpScientifica	JLT6
Turbidímetro	Lovibond- TurbiCheck	Tintometer Group
pHmetro	Horiba	LAQUAact D-74
pHmetro	Hanna	HI98130
Digestor de viales	DigiPREP Cube	CBA0413300132
Fotómetro multiparamétrico with COD	Hanna	HI833999
Equipo de filtración de agua	-	-
Purificador de agua	Millipore	Direct-Q 3 with Pump

Nota: Equipos empleados para el análisis de los parámetros de calidad de agua iniciales y finales evaluados para cada enjuague. Elaborado por: Los autores

Tabla 11*Equipos del espectrofotómetro de absorción atómica*

Equipo	Marca	Modelo
Llama (aire/acetileno y nitroso/acetileno)	Enduro T2100 System	T2100
Horno de grafito	Diagaram	
Generados de hidruros		
Extractor de aire		
Compresor de aire		
Chiller		

Nota: Esto son los equipos está compuesto el equipo de espectrofotometría de absorción atómica.

Elaborado por: Los autores

3.2 Metodología utilizada

La metodología propuesta para el desarrollo del proyecto se dividió en 4 fases fundamentales:

3.2.1 Fase de campo

3.2.1.1 Selección de puntos de muestreo.

El área de estudio total comprende a la industria electroquímica ubicada en Ambato, los puntos de muestreo se ubicaron de acuerdo a las tinajas de los enjuagues (enjuague de cromo, níquel y neutralizante).

3.2.1.2 Muestreo.

Al momento de tomar las muestras se realizó un muestreo simple en base al método APHA “Standard Methods for examination of water and wastewater”, estas se recolectaron en canecas de 20 litro para los análisis físicoquímicos. Para los 3 puntos de muestreo se aplicó el siguiente procedimiento, se homogenizó 3 veces en el agua a analizar y en la tercera homogenización se tomó la muestra final en las canecas de 20 litros, ver gráfico 7, 8, 9 y 10. Por último los envases se etiquetaron (tipo de enjuague, nombre del muestreador, fecha del muestreo), para posteriormente ser transportar las muestras al laboratorio.

Figura 7

Proceso de homogenización pre-llenado de los envases con la muestra.



Nota: El grafico representa el procedimiento realizado para el muestreo en los tres enjuagues.

Elaborado por: Los autores

Muestra de enjuague de cromo

Figura 8

Recolección de muestra enjuague de cromo



Nota: El grafico representa el procedimiento realizado para el muestreo en el enjuague de cromo.

Elaborado por: Los autores

Muestra de enjuague de níquel

Figura 9

Recolección de muestra enjuague de níquel



Nota: El grafico representa el procedimiento realizado para el muestreo en el enjuague de níquel.

Elaborado por: Los autores

Muestra enjuague neutralizante

Figura 10

Recolección de muestra enjuague neutralizante.



Nota: El grafico representa el procedimiento realizado para el muestreo en el enjuague de cromo. Elaborado por: Los autores

3.2.2 Fase de laboratorio

3.2.2.1 Análisis preliminar de calidad de agua.

Estos análisis, se llevaron a cabo en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana, a continuación, se detallan los parámetros analizados; los cuales evaluarán las concentraciones iniciales y finales posteriores a prueba de jarras con los métodos de evaluación.

Tabla 12

Parámetros para determinar la calidad de agua

Parámetro	Unidad
Demanda química de oxígeno	mg/L
Potencial de hidrogeno	U pH
Conductividad	mV
Turbidez	NTU
Solidos sedimentables	ml/L
Color	mg/L

Nota: pH: unidad de pH; mg/L: miligramos por litro; NTU: Nephelometric Turbidity, unida de turbidez; mV: Milivoltios. Elaborado por: Los autores

3.2.2.1.1 Métodos empleados para análisis de parámetros físicos y químicos.

Tabla 13

Paramientos evaluados, equipos, materiales y métodos empleados para el análisis de parámetros físicos y químicos en las muestras de aguas residuales industriales.

Parámetro	Método	Equipo	Materiales
Parámetros Físicos			
Potencial de hidrogeno (pH)	SM 450 H ⁺ / ⁻ B – Medición directa con electrodo	- PHmetro Marca: HORIBA y HANNA	- Vaso de precipitación de 1000 mL - Muestra de aguas
Conductividad eléctrica	SM. 2510-B-Método de determinación directa por sonda.	- Potenciómetro Marca: HANNA	- Vaso de precipitación de 1000 mL - Muestra de aguas
Turbidez	SM.2130 B-Método por nefelométrico	- Turbidímetro Marca: Lovibond-TurbiCheck	- Pipeta de 10 mL - Celda de medición 10 mL - Muestras de aguas
Solidos sedimentables	SM 2540-F-Método gravimétrico	-----	- Cono inhoff 1000 mL - Muestra de aguas - Agua destilada
Color	1/20	-----	- Probeta de 1000 mL - Pipeta de 10 mL - Muestra de aguas

Parámetros químicos

Demanda química de oxígeno	Adaptación del método 410.4 aprobado por la USEPA para la determinación de la DQO en aguas superficiales y residuales. SM 5220 D. DQO-Método colorimétrico, reflujo cerrado	- Digestor - Marca: DigiPREP Cube - Fotómetro multiparámetro Marca: HANNA	- Gradilla de enfriamiento - Muestra de agua - Agua destilada - Viales de análisis para DQO - Jeringas de plástico
----------------------------	---	--	--

Nota: La presente tabla muestra los parámetros físicos y químicos analizados tanto para concentraciones iniciales y finales después de la aplicación de los diferentes coagulantes, floculantes y polielectrolítico en los 3 enjuagues analizados. Metodología establecida por Standard Methods. Elaborado por: Los autores

Para las pruebas de tratabilidad realizadas para los enjuagues de cromo, níquel y neutralizante, se tomó en cuenta la siguiente metodología:

Tabla 14

Equipos, materiales y métodos pruebas de tratabilidad

Prueba	Método	Equipo	Material
Jar Test	- ASTM D2035-19 Para esta prueba se debe tener en cuenta las Tablas 15,16 y 17	- Balanza analítica marca: Mettler Toledo - Equipo prueba de jarras marca: VelpScientifica - Potenciómetro marca: Hanna - pHmetro marca: Horiba	- Vasos de precipitación 1000 mL - Espátula - Vidrio reloj - Muestra de agua - Agua destilada

Filtración	- CEC (Código de construcción)	- Turbidímetro Marca: Lovibond-TurbiCheck	- Agua de muestra - Papel filtro - Tijeras - Embudo de precipitación - Agua destilada
------------	--------------------------------	--	---

Nota: La presente tabla representa las pruebas de tratabilidad empleadas para la evaluación de la precipitación química en los 3 tipos de aguas residuales industriales. Metodología establecida por Standard Methods. Elaborado por: Los autores

Para la realización del “Jar Test” se ha determinado 5 diferentes concentraciones como se puede evidenciar en la Tabla 15, las cuales van a variar en decimales dependiendo el método analizado.

Tabla 15

Concentración de vaso para prueba de jaras

Vaso con concentración g/L	Agua 1 Enjuague de Cromo		Agua 2 Enjuague de Níquel		Agua 3 Enjuague neutralizante	
	turbidez	pH	turbidez	pH	turbidez	pH
0,01						
0,05						
0,1						
0,25						
0,5						

Nota: Esta tabla explica las concentraciones con las que se va a trabajar para los coagulantes, floculantes y polielectrolítico. A continuación, se especificará los 3 métodos y que químico se va a emplear. Elaborado por: Los autores

Para lograr el cumplimiento en norma de los parámetros de calidad de agua para los enjuagues de cromo, níquel y neutralizante se emplearon los siguientes métodos con coagulante, floculantes y polielectrólitos:

Método 1 “PAC”

El PAC es mejor conocido como “policloruro de aluminio”, es un coagulante inorgánico común; este es un coagulante químico que se utilizan de forma intensiva y creciente en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Según (Awad et al., 2013) su principal ventaja es que trabaja en amplio rango de pH y bajas temperaturas con una eficiencia significativa a bajas concentraciones en comparación con otros coagulantes convencionales a base de cloruros y sulfatos de Al o Fe(III).

Método 2 “Cloruro férrico”

De acuerdo con (Kurup et al., 2019), los coagulantes metálicos inorgánicos como el FeCl_3 “cloruro férrico” se usan con gran frecuencia en el tratamiento del agua debido a su alta eficiencia, disponibilidad, bajo costo y funcionan a temperaturas habituales. Las principales ventajas del uso del cloruro férrico como agente de coagulación es la eliminación de compuestos de fósforo y azufre, mejor deshidratación de lodos y a su vez ayuda a eliminar la demanda química de oxígeno(DQO) de aguas residuales de melaza tratada anaeróticamente con una eficiencia mucho mayor del 89% en comparación con el clorhidrato de aluminio y el cloruro de polidialildimetilamonio.

Método 3 “Sulfato de aluminio”

Según (Dotto et al., 2013) el sulfato de aluminio es un abreviado de “alumbre” el cual es un coagulante más utilizado en la industria de tratamiento de aguas residuales debido a su buen desempeño, costo, efectividad y disponibilidad. Debido a las altas concentraciones de sulfato de aluminio se produce una precipitación rápida de una gran cantidad de hidróxido de aluminio, para formar "flóculos de barrido" (Zhou et al., 2008).

3.2.2.1.2 Método de precipitación de cromo VI y níquel.

Para la precipitación de cromo VI y níquel, se realizaron varias pruebas basadas en estudios anteriores y su eficiencia en aguas residuales industriales, la eficiencia de estos métodos varía en los enjuagues de cromo y de níquel por la alta concentración de los metales que presentan dichos enjuagues. Según (Ahmad et al., 2008) el uso de polielectrolitos sintéticos o floculante polimérico “poliacrilamida (PAM)” se empleó en estos enjuagues, debido a que estos poseen diversas funcionalidades (carga positiva, neutra o negativa) que se pueden utilizar para producir un buen rendimiento de sedimentación a un costo relativamente bajo. Desde el punto de vista de (Wong et al., 2006) este floculante polimérico logra reducir el volumen de lodo debido a que el rendimiento del polímero depende menos del pH.

Dentro de estas pruebas se empleó la PAM-C “poliacrilamida catiónica”, que se caracteriza por tener en sus cadenas una carga eléctrica positiva, debida a la presencia de grupos amino. La poliacrilamida catiónica se hidroliza en el agua formando OH⁻, por lo que funciona mejor en pH ácido (Oidor, 2018). El uso de este polielectrolito sintético ayuda a la formación

rápida y estable de flóculos, esta posee un potencial de floculación limitado cuando se usaron solos, pero funciona cuando se incorpora con otros floculantes facilitando la filtración.

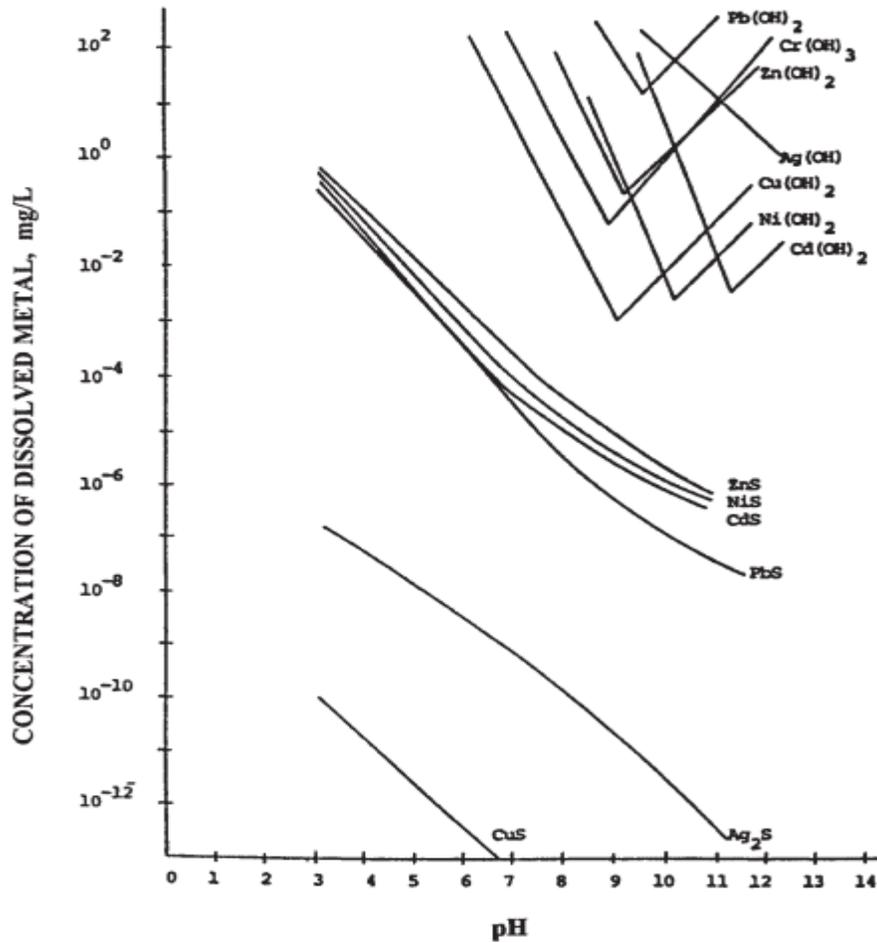
La PAM-A “poliacrilamida aniónica” se caracteriza por tener grupos ionizados negativamente (grupos carboxílicos), se emplean como coadyuvantes de coagulantes junto con sales metálicas, generalmente se agregan después del coagulante debido a la carga negativa de partículas en las aguas residuales, asegurando así una mayor eficiencia. La mayor ventaja que tiene este floculante polimérico es que aumenta la eficiencia de floculación del coagulante, aumentando la velocidad de sedimentación y reduciendo la cantidad de coagulante requerida para el tratamiento y con un costo menor del proceso de coagulación-floculación (Aguilar et al., 2005).

Precipitación de cromo VI

Según (Kumar y Dwivedi, 2021) la forma más frecuente de eliminación de Cr(VI) es su reducción en cromo trivalente Cr(III), esto se realiza típicamente con compuesto de azufre como el dióxido de azufre (SO_2), y metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2(\text{S}_2\text{O}_5)$), en menor porcentaje los hidróxidos de sodio $\text{Na}(\text{OH})$ e hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$, se utilizan abundantemente para reducción de Cr(VI) en concentraciones muy elevadas.

Figura 11

Solubilidad de hidróxidos y sulfuros metálicos en función del pH



Nota: Esta figura representa la concentración en la que se puede obtener la precipitación de los distintos metales con hidróxidos y sulfuros. La misma fue empleada tanto para las pruebas de enjuague de cromo como níquel. Fuente:(Wang et al., 2005)

Posterior a esta prueba de jarras de los tres métodos de tratamiento con coagulantes, floculantes y polielectrolíticos, se observó que no existía eficiencia en la precipitación de cromo y níquel para lo cual se realizó nuevamente una prueba de jarras con 6 vasos de precipitación de 1000 mL.

Con el fin de lograr la precipitación de cromo VI, para este método se emplearon 4 diferentes pruebas de jarra.

Tabla 16

Pruebas de tratabilidad de cromo VI

N ° Prueba	Procedimiento
1	Se emplearon 6 vasos de precipitación 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3 g/L de PAM-A y una masa óptima para todos los vasos de precipitación de 1,772 g/L de sulfito de sodio Na ₂ (SO ₃), para lograr subir el pH a 7,5 se empleó hidróxido de sodio de 1 mL/L en cada vaso de precipitación, con un tiempo de mezcla de 5 minutos y una velocidad de agitación de 100 rpm.
2	Se emplearon 6 vasos de precipitación 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3 g/L de PAM-C y con 6 diferentes concentraciones de hidróxido de calcio 1.78, 0.01, 0.1, 0.5, 1, 2 mg/L, para lograr subir el pH a 7,5 se empleó hidróxido de sodio de 6,2 mL/L en cada vaso de precipitación, con un tiempo de mezcla de 5 minutos y una velocidad de agitación de 100 rpm.
3	Se emplearon 6 vasos de precipitación con hidróxido de calcio 1.78 mg/L, 0.01,0.01, 0.5, 1, 2 g/L, para lograr subir el pH a 7,5 y un tiempo de mezcla de 5 minutos a velocidad de agitación de 100 rpm.
4	Se emplearon 6 vasos de precipitación con concentraciones 10, 30,50,80,100,150 mg/L de metabisulfito de sodio, el pH de la muestra se mantiene en 2 con ácido sulfúrico, con un tiempo de mezcla de 5 minutos y una velocidad de agitación de 50 rpm.

Nota: Esta tabla explica las concentraciones y químicos empleados para lograr la precipitación de cromo VI, en el enjuague de cromo. Elaborado por: Los autores

Precipitación de níquel

Con el fin de lograr la precipitación de níquel se emplearon 2 diferentes pruebas de jarra.

Tabla 17

Pruebas de tratabilidad de níquel

N ° Prueba	Procedimiento
1	Se ejecuta el Jar Test con 6 precipitación con concentraciones de PAM-C 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3 g/L, para lograr subir el Ph A 7,5 se empleó hidróxido de sodio con 5 mL/L en cada vaso de precipitación, con un tiempo de mezcla de 5 minutos y una velocidad de agitación de 100 rpm.
2	Se emplea el Jar test con 6 vasos de precipitación con concentraciones de hidróxido de calcio 500, 600, 700,796.42, 1000, 1500 mg/L, a una velocidad de agitación de 100 rpm durante 30 min.

Nota: Esta tabla explica las concentraciones y químicos empleados para lograr la precipitación de níquel, en el enjuague de níquel. Elaborado por: Los autores

3.2.3 Fase de análisis de metales

Para la medición de los parámetros siguientes, se debe tomar en cuenta la Tabla 18, la cual indica los metales que se encuentran presenten en los 3 tipos de agua residual procedentes a la industria de recubrimiento electroquímica.

Tabla 18

Parámetros para determinar metales pesados

Parámetro	Unidad
Aluminio	mg/L
Cadmio	mg/L
Cobre	mg/L
Cromo VI	mg/L
Níquel	mg/L
Plomo	mg/L

Nota: En esta tabla se presentan los metales a ser evaluados en los 3 enjuagues estudiados.

Elaborado por: Los autores

Dichos análisis fueron realizados antes y después de aplicación de coagulantes, floculantes y polielectrolíticos empleados para llegar a valores óptimos dentro de la normativa 097-A para alcantarillado.

3.2.3.1 Análisis de metales en fotómetro multiparamétrico.

Tabla 19

Materiales y métodos para análisis de metales en el fotómetro multiparamétrico

Metal	Método	Materiales
Aluminio	Adaptación del método del aluminón	<ul style="list-style-type: none"> - Muestra de agua - Agua destilada - Reactivo de aluminio A, B, C HI93712A-01 - Celda de medición de 10 mL - Varilla de vidrio - Vaso de precipitación de 400 mL - Pipeta de 10 mL
Cobre	Adaptación del método de la EPA	<ul style="list-style-type: none"> - Muestra de agua - Agua destilada - Reactivo cobre HI93702-01 - Varilla de vidrio - Pipeta de 10 mL
Cromo VI	Adaptación del método de la difenilcarbohidracida D1687-92 del ASTM Manual of Water and Environmental Technology	<ul style="list-style-type: none"> - Muestra de agua - Agua destilada - Reactivo cromo VI HI93726-01 - Varilla de vidrio - Pipeta de 10 mL

Níquel	Adaptación del método fotométrico.	<ul style="list-style-type: none"> - Muestra de agua - Agua destilada - Reactivo níquel HI93726-01 - Varilla de vidrio - Pipeta de 10 mL
--------	------------------------------------	---

Nota: En esta tabla presenta la metodología y materiales empleados para los 4 metales a ser evaluados en los 3 enjuagues de estudio. Metodología establecida por el Manual de Instrucciones del Fotómetro HI8399 Elaborado por: Los autores

3.2.3.2 Análisis de metales por espectrofotometría de absorción atómica.

Esta es una de las técnicas más empleadas y útiles para el análisis de compuestos inorgánicos, en especial compuestos metálicos presentes en agua, alimentos, suelo y materiales como papel y vidrio. El análisis de metales pesados, se realiza por tres métodos llama, horno y generador de hidruros dependiendo el metal y las concentraciones en la cuales se encuentre el metal que puede ser ppm y ppb.

3.2.3.2.1 Espectrofotometría de absorción atómica en horno de grafito.

Esta técnica en horno de grafito permite bajar los rangos de detección de ppm a ppb, con un instrumento sencillo y sin esfuerzo. Para la evaluación de los metales pesados con esta técnica se procedió a realizar las curvas de calibración para los metales a analizar, el espectrofotómetro las realiza de forma automática con solo una solución estándar madre (Simba y Zurita, 2021).

Se utilizó una solución madre con concentración de 1000 ug/ml del metal a analizar. Antes de realizar cualquier solución estándar madre se debe tener en cuenta el rango lineal de concentración de lectura del equipo según el metal, este se encuentra en el manual GBC Scientific Equipment “SavantAAZeeman Methods Manual”.

Tabla 20

Estándares madre de los metales Cd, Co y Pb

Metales	Estándar madre
Plomo	50 ppb
Cadmio	2 ppb
Cobalto	20 ppb

Nota: Concentraciones empleadas para realizar los estándares, para la obtención de las curvas de calibración para cada metal respectivamente dentro del equipo de espectrofotometría de absorción atómica (horno de grafito). Elaborado por: Los autores

Cada estándar utilizado o solución madre contiene 1000 ppm, debido a que el horno de grafito mide en ppb es necesario realizar disoluciones, para que de esta manera disminuya el rango de error de la solución madre deseada. Es importante tener en cuenta que la concentración del estándar madre depende netamente del rango concentración linear el cual se encuentra en GBCScientific Equipment “SavantAA Zeeman Methods Manual”. Para el cálculo de la concentración se empleó la siguiente formula:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Donde:

C_1 : Concentración molar de la disolución

V_1 : Volumen de la alícuota por tomar de la disolución

C_2 : Concentración molar de las disoluciones disueltas

V_2 : Volumen de la disolución diluida

Cadmio

- *Rango concentración linear: 0-3 (ppb)*
- *Concentración escogida: 2 ppb*
- *Concentración del estándar: 1000 ppm*

Dilución

- ***De 1000 ppm a 1 ppm***

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$1000 \text{ ppm} * V_1 = 1 \text{ ppm} * 50 \text{ ml}$$

$$V_1 = 0.05 \text{ ml}$$

$$V_1 = 50 \mu\text{l}$$

- ***De 1 ppm a 2 ppb***

$$1 \text{ ppm} = 1000 \text{ ppb}$$

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$1000 \text{ ppb} * V_1 = 2 \text{ ppb} * 50 \text{ ml}$$

$$V_1 = 0,1 \text{ ml}$$

$$V_1 = 100 \mu\text{l}$$

Cobalto

- *Rango concentración linear: 0-35 (ppb)*
- *Concentración escogida: 20 ppb*
- *Concentración del estándar: 1000 ppm*

Diluciones

- ***De 1000 ppm a 1 ppm***

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$1000 \text{ ppm} * V_1 = 1 \text{ ppm} * 50 \text{ ml}$$

$$V_1 = 0.05 \text{ ml}$$

$$V_1 = 50 \mu\text{l}$$

- **De 1 ppm a 20 ppb**

$$1 \text{ ppm} = 1000 \text{ ppb}$$

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$1000 \text{ ppb} * V_1 = 20 \text{ ppb} * 50 \text{ ml}$$

$$V_1 = 1 \text{ ml}$$

$$V_1 = 1000 \mu\text{l}$$

Plomo

Rango concentración linear: 0-50 (ppb)

Concentración escogida: 50 ppb

- *Concentración del estándar: 1000 ppm*

Diluciones

- ***De 1000 ppm a 1 ppm***

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$1000 \text{ ppm} * V_1 = 1 \text{ ppm} * 50 \text{ ml}$$

$$V_1 = 0,05 \text{ ml}$$

$$V_1 = 50 \mu\text{l}$$

- **De 1 ppm a 50 ppb**

$$1 \text{ ppm} = 1000 \text{ ppb}$$

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$1000 \text{ ppb} * V_1 = 50 \text{ ppb} * 50 \text{ ml}$$

$$V_1 = 2,5 \text{ ml}$$

$$V_1 = 2500 \mu\text{l}$$

Las curvas obtenidas con el equipo de espectrofotometría de absorción atómica tanto para cadmio, cobalto y plomo. Ver anexo 4.

3.2.3.2.2 *Eficiencia de remoción de metales pesados.*

Una vez obtenidas las concentraciones de cada metal ya sea por medio de la espectrofotometría de absorción atómica (AA) o por el fotómetro multiparámetro COD, se procede a calcular el porcentaje (%) de remoción de metales (aluminio, cadmio, cobalto, cobre, cromo VI, níquel y plomo) con cada uno de los métodos empleados dentro de cada enjuague. Los resultados reportados servirán para determinar cuál de los tratamientos evaluados es el más efectivo para los enjuagues de neutralizante, cromo y níquel (López, 2018).

$$\% \text{Remoción} = \frac{C_o - C_t}{C_o} \times 100$$

Donde:

C₀: Concentración inicial del metal, ppm (mg/l)

C_t: Concentración del metal en el tiempo *t*, una vez finalizado el tratamiento, ppm

%Remoción: Porcentaje de remoción del metal

Una vez obtenido el porcentaje de remoción (% remoción) por parte de cada método analizado para cada enjuague, se tomó el método con mayor porcentaje de remoción por enjuague; el mismo que se comparó con los parámetros establecidos en el acuerdo ministerial 097-A Anexo 1 Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público (MAAE-Acuerdo Ministerial 097-A, 2015), a fin de verificar si cumple con los rangos y límites máximos de concentración.

3.2.4 Fase de Estadística

3.2.4.1 Diseño Experimental.

Los datos se obtuvieron a partir de los análisis de laboratorio mediante espectrofotometría de absorción atómica por el método de horno de grafito y fotómetro multiparámetro, para determinar las concentraciones de los metales de aluminio, cromo, cobre, níquel, plomo, cadmio, y cobalto, presentes en las aguas residuales de la industria electroquímica en los 3 enjuagues de níquel, cromo y neutralizante.

Cada análisis se realizó con repeticiones por triplicado, teniendo un total de 294 (doscientas noventa y cuatro) muestras analizadas.

3.2.4.2 Diseño Estadístico.

Los datos evaluados en el diseño experimental fueron tabulados mediante el Software Microsoft Excel con el complemento estadístico del software, con el cual se obtendrá la información de ANOVA y comparaciones con prueba de Tukey al 5% creando intervalos de confianza entre los porcentajes de remoción de los metales analizados (aluminio, cadmio, cobalto, cobre, cromo VI, níquel y plomo) para cada uno los métodos evaluados en los enjuagues de cromo, níquel y neutralizante.

La prueba estadística aplicada es la de ANOVA en la cual se analizan más de dos grupos que difieren significativamente entre sí en cuanto a sus medias y varianzas. (Juárez, 2015) afirma que estos son los pasos a seguir para realizar la prueba de significancia:

1. Hipótesis nula. H_0 : No hay diferencia en los métodos de aplicados.

Hipótesis alternativa: Existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de los grupos de aplicados o estudiados.

2. Nivel de significación. Se utiliza un nivel de significación de 0,05, con prueba de una cola.

3. Distribución de muestreo. Se emplea la distribución F.

4. Cálculo del estadístico F.

Al momento de analizar el cálculo estadístico de F, se debe que tener en cuenta los siguiente:

- Si el **valor de F** > a la probabilidad (el experimento se declare Significativo).
- Si el **valor de p** < al nivel de **significancia α** (se rechaza la hipótesis nula).
- Si el **valor de p** > al nivel de **significancia α** (se rechaza la hipótesis alternativa).

Mediante el cálculo del porcentaje de remoción por metal evaluado, se realizó una comparación por tratamiento aplicado dentro de cada agua analizada para evidenciar cuál de los tratamientos evaluados es más eficiente en cada enjuague (cromo, níquel y neutralizante) el mismo que se presentara mediante gráficos y tablas comparativas. Los datos obtenidos serán validados con la aplicación de ANOVA y la prueba de Tukey al 5% por tratamiento dentro de cada enjuague. Es importante tener en cuenta que cada tratamiento tiene un porcentaje de remoción diferente y que en algunos casos en vez de disminuir la concentración del metal analizado puede este aumentar por el químico aplicado, por esta razón se visualizaran porcentajes de cero.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de análisis de remoción de metales por procesos de precipitación química

4.1.1 Parámetros de calidad de agua y metales analizados

Una vez recolectadas las muestras, se realizó los análisis detallados en la metodología, entre los parámetros evaluados Los datos obtenidos servirán para la verificación del cumplimiento del acuerdo ministerial 097-A.

4.1.1.1 Concentraciones iniciales del agua industrial.

Tabla 21

Parámetros de calidad de agua - enjuague de cromo

Parámetro	Valor	Normativa 097 A Anexo 1 Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público	Cumple No cumple N/A
DQO	255 mg/L	500 mg/L	Cumple
pH	2,39	6-9	No cumple
Conductividad	579 mV	N/A	N/A
Turbidez	0,95 NTU	N/A	N/A
Sólidos sedimentables	0 ml/l	20 ml/L	Cumple
Color (apreciable dilución 1/20)	No apreciable	N/A	N/A
Aluminio	0,31 mg/L	5 mg/L	Cumple
Cadmio	0,00046 mg/L	0,02 mg/L	Cumple
Cobalto	0 mg/L	0,5 mg/L	Cumple
Cobre	1,66 mg/L	1 mg/L	No cumple
Cromo VI	0,950 mg/L	0,5 mg/L	No Cumple
Níquel	950 mg/L	2 mg/L	No cumple
Plomo	0,08113 mg/L	0,5 mg/L	Cumple

Nota: Representa los resultados de los análisis de laboratorio enjuague de cromo inicial.

Elaborado por: Los autores

Tabla 22*Parámetros de cálida de agua - enjuague de níquel*

Normativa 097 A			
Anexo 1			
Parámetro	Valor	Tabla 8. Límites De descarga al sistema de alcantarillado público	Cumple No cumple N/A
DQO	690 mg/L	500 mg/L	No cumple
pH	6,27	6-9	Cumple
Conductividad	312 mV	N/A	N/A
Turbidez	5,69 NTU	N/A	N/A
Sólidos sedimentables	0	20 ml/L	Cumple
Color (apreciable dilución 1/20)	No apreciable	N/A	N/A
Aluminio	0 mg/L	5 mg/L	Cumple
Cadmio	0,00125 mg/L	0,02 mg/L	Cumple
Cobalto	0,03011 mg/L	0,5 mg/L	Cumple
Cobre	0,37 mg/L	1 mg/L	Cumple
Cromo VI	0,143 mg/L	0,5 mg/L	Cumple
Níquel	790 mg/L	2 mg/L	No cumple
Plomo	0,05463 mg/L	0,5 mg/L	Cumple

Nota: Representa los resultados de los análisis de laboratorio enjuague de Níquel inicial.

Elaborado por: Los autores

Tabla 23*Parámetros de cálida de agua - enjuague de neutralizante*

Normativa 097 A			
Anexo 1			
Parámetro	Valor	Tabla 8. Límites De descarga al sistema de alcantarillado público	Cumple No cumple N/A
DQO	861 mg/L	500 mg/L	No cumple
pH	2,67	6-9	No cumple
Conductividad	570 mV	N/A	N/A
Turbidez	5,02 NTU	N/A	N/A
Sólidos sedimentables	0	20 ml/L	Cumple
Color (apreciable dilución 1/20)	No apreciable	N/A	N/A
Aluminio	0,32 mg/L	5 mg/L	Cumple
Cadmio	0,00014 mg/L	0,02 mg/L	Cumple
Cobalto	0,00856 mg/L	0,5 mg/L	Cumple
Cobre	0,26 mg/L	1 mg/L	Cumple
Cromo VI	0,047 mg/L	0,5 mg/L	Cumple
Níquel	0 mg/L	2 mg/L	Cumple
Plomo	0,26 mg/L	0,5 mg/L	Cumple

Nota: Representa los resultados de los análisis de laboratorio enjuague neutralizante inicial.

Elaborado por: Los autores

4.1.1.2 Tratamiento de agua residual.

Para la evaluación de los métodos de tratamiento en los tres enjuagues (cromo, níquel y neutralizante) procedentes de la industria de recubrimiento electroquímico, se identificó la masa ideal y la jarra con menor turbidez mediante el JarTest. A continuación, se detalla los datos obtenidos en la prueba de jarras y el valor de concentración para cada coagulante, floculante y polielectrolito empleado.

Tabla 24

Prueba de jarras con PAC, FeCl₃ y Al₂(SO₄)₃

PAC								
Enjuague de Cromo			Enjuague de Níquel			Enjuague Neutralizante		
Vaso con concentración g/L	Turbidez NTU	pH	Vaso con concentración g/L	Turbidez NTU	pH	Vaso con concentración g/L	Turbidez NTU	pH
0,0159	52,4	6,98	0,013	12	6,94	0,0161	23,66	6,93
0,0520	71,2	6,84	0,05	41,8	6,68	0,0504	22,9	6,7
0,1066	62,6	6,71	0,1	51,8	6,15	0,1131	68,2	6,65
0,2508	53,5	6,65	0,2508	52,8	5,58	0,2512	48,5	6,11
0,5012	80,8	6,44	0,5	78,9	5,44	0,5036	45,6	4,93

Cloruro férrico

Enjuague de Cromo			Enjuague de Níquel			Enjuague Neutralizante		
Vaso con concentración g/L	Turbidez NTU	pH	Vaso con concentración g/L	Turbidez NTU	pH	Vaso con concentración g/L	Turbidez NTU	pH
0,0142	62,8	6,76	0,0188	11,5	6,1	0,0181	8,34	4,48
0,0514	79,5	6,7	0,0527	23,0	5,6	0,0503	18,3	4,2
0,1021	321	6,63	0,1198	60,7	5,4	0,1031	49,8	3,66
0,2505	296	6,33	0,2515	157	3,24	0,2560	85,9	2,86
0,5159	610	5,17	0,5056	263	2,77	0,5073	181	2,56

Sulfato de aluminio

Enjuague de Cromo			Enjuague de Níquel			Enjuague Neutralizante		
Vaso con concentración g/L	Turbidez NTU	pH	Vaso con concentración g/L	Turbidez NTU	pH	Vaso con concentración g/L	Turbidez NTU	pH
0,0115	35,9	7,2	0,0113	16,9	7,4	0,0124	9,11	7
0,0520	77,0	6,97	0,054	32,5	7,36	0,0564	13,6	6,8
0,1042	139	6,5	0,1695	47,6	7,21	0,1152	19,6	6,57
0,2500	302	5,69	0,2540	25,5	7,14	0,2534	31,6	6,4
0,5023	642	3,63	0,5007	512,4	6,99	0,5011	41,1	6,24

Nota: Resultados del Jar Test mediante los 3 métodos de PAC, FeCl₃ y Al₂(SO₄)₃, así como el valor óptimo de concentración respectivamente según la jarra con menor turbidez, para los tipos de enjuagues cromo, níquel y neutralizante. Elaborado por: Los autores.

En base a la metodología explicada en el capítulo III y las Tablas 12, 15 y 18 y el anexo 5, 6 y 7, se realizó una comparación con el AM097-A “Tabla 8, Límites de descarga al sistema de alcantarillado público”, con la cual se obtuvo siguientes resultados para los tres métodos principales evaluados en los 3 enjuagues:

Tabla 25

Resultados del Jar Test y parámetros de análisis por enjuagues evaluados

Método	Resultados		
	Enjuague de cromo	Enjuague de níquel	Enjuague neutralizante
PAC (ver Anexo 5)	- Vaso con menor turbidez, es el vaso 1, con una concentración de 0,0159 g/L y una turbidez de NTU 52,4. - Se puede evidenciar que los parámetros que no cumplen con el AM097-A, es el cromo VI el cual cuenta con una concentración de 0,76 mg/L siendo el límite 0,5 mg/L.	- Vaso con menor turbidez, es el vaso 1, el cual posee una concentración de 0,013 g/L y una turbidez de NTU 12. - Se puede evidenciar que los parámetros que no cumplen con el AM097-A, es el cromo VI el cual cuenta con una concentración de 1 mg/L siendo el límite 0,5 mg/L y el níquel cuya concentración es de 990 mg/L y la norma dice 2 mg/L	- Vaso con menor turbidez, es el vaso 2, el cual posee una concentración de 0,0504 /Lg y una turbidez de NTU 22,9. - Se puede evidenciar que los parámetros que no cumplen con el AM097-A, es el cromo VI el cual cuenta con una concentración de 1 mg/L siendo el límite 0,5 mg/L.

			- Vaso con menor turbidez, es el vaso 1, el cual posee una concentración de 0,0142 g/L y una turbidez de NTU 62,8.		
Cloruro férrico (ver Anexo 6)	- Vaso con menor turbidez, es el vaso 1, el cual posee una concentración de 0,0188 g/L y una turbidez de NTU 11,5.	- Vaso con menor turbidez, es el vaso 1, el cual posee una concentración de 0,0181 g/L y una turbidez de NTU 8,34.	- Se puede evidenciar que los parámetros que no cumplen con el AM097-A, es el cromo VI el cual cuenta con una concentración de 0,818 mg/L siendo el límite 0,5 mg/L.	- Se puede evidenciar que los parámetros que no cumplen con el AM097-A, es el níquel el cual cuenta con una concentración de 810 mg/L siendo el límite 2 mg/L.	- Se puede evidenciar que los parámetros que no cumplen con el AM097-A, es el cromo VI el cual cuenta con una concentración de 0,85 mg/L siendo el límite 0,5 mg/L
Sulfato de aluminio (ver Anexo 7)	- Vaso con menor turbidez, es el vaso 1, el cual posee una concentración de 0,0115 g/L y una turbidez de NTU 35,9.	- Vaso con menor turbidez, es el vaso 1, el cual posee una concentración de 0,0124 g/L y una turbidez de NTU 9,11.	- Vaso con menor turbidez, es el vaso 1, el cual posee una concentración de 0,0113 g/L y una turbidez de NTU 16,9.	- Vaso con menor turbidez, el vaso 1, el cual posee una concentración de 0,0113 g/L y una turbidez de NTU 16,9.	- Después de analizar todos los parámetros mencionados en la Tabla 12 y 18, se puede evidenciar que todos los
	- Se puede evidenciar que los parámetros que no cumplen con el AM097-A, es el cromo VI el cual cuenta con una concentración de 0,601 mg/L siendo el límite 0,5 mg/L.	- Se puede evidenciar que los parámetros que no cumplen con el AM097-A, es el níquel el cual cuenta con una concentración de 860 mg/L siendo el límite 2 mg/L.			

parámetros cumplen con el AM097-A “Tabla 8, Límites de descarga al sistema de alcantarillado público”.

Nota: Resultados del Jar Test mediante los 3 métodos de PAC, FeCl_3 y $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y resultados de comparación con el AM097-A, para los tipos de enjuagues cromo, níquel y neutralizante.

Elaborado por: Los autores

4.1.1.3 Precipitación de Níquel y Cromo VI.

Debido a que en la aplicación de métodos antes evaluados (PAC, cloruro férrico y sulfato de aluminio) para los enjuagues de cromo y níquel, no presento valores de remoción en los metales de níquel y cromo VI, se realizaron la aplicación de distintas pruebas mediante el uso de nuevos coagulantes, floculantes y polielectrolitos.

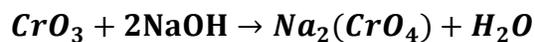
4.1.1.3.1 Cromo VI.

Prueba 1

Reacciones de peso óptimo de sulfito de sodio

Para realizar el cálculo del peso óptimo de sulfito de sodio ($\text{Na}_2(\text{SO}_3)$), según (A. C. Morales et al., 2015) afirma que la reducción de Cr(VI) a Cr(III) mediante iones de sulfito en presencia de iones fosfato es posible, con ayuda de la relación ($\text{Na}_2(\text{SO}_3)$), teniendo una relación de CrO_3 18,5 veces, la precipitación se da en un tiempo aproximado de 2 horas a temperatura ambiente y el pH constante de 7,63 por acción buffer del sulfito.

Reacción de prueba 1



$$100\text{g/mol} + 79,98 \text{ g/mol} \rightarrow 161,97\text{g/mol} + 18\text{g/mol}$$

Datos complementarios

$$\text{Masa Na}_2(\text{SO}_3) = 126,04\text{g/mol}$$

$$\text{Concentracion de Cr (VI)} = 2232\text{g/l} = 2,232 \text{ mg/L (CrO}_4)$$

$$\frac{\text{Na}_2(\text{SO}_3)}{\text{CrO}_3} = 18,5$$

$$\text{Eficiencia del Na}_2(\text{SO}_3) = 98 \%$$

$$\frac{100\text{g CrO}_3}{161,97 \text{ g Na}_2(\text{CrO}_4)} * 2,232 \frac{\text{mg}}{\text{L}} (\text{CrO}_4) = \frac{1,378 \text{ mg}}{\text{L}}$$

$$\frac{1,378 \text{ mg}}{\text{L}} * \frac{1\text{mol}}{100 \text{ gCrO}_3} * \frac{1\text{g}}{1000\text{mgCrO}_3} * \frac{18,5\text{CrO}_3}{\text{Na}_2(\text{SO}_3)} = 2,549 * 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$2,549 * 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{l}} * 126,04 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0,0321 \frac{\text{g}}{\text{l}} = 32,1 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$\text{peso } \acute{\text{o}}\text{ptimo: } \frac{32,1 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{0,98} = 32,79 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Tabla 26*Prueba 1 de precipitación de cromo VI*

Concentración PAM-C (g/L)	Masa de sulfito de Na g/L	Na(OH) (mL)	pH optimo	Concentración de cromo VI mg/L		
				Cr(VI)	CrO ₄	Cr ₂ O ₇
				0,05	0,03279	1
0,1	0,03279	1	7,55	1	2,232	2,078
0,15	0,03279	1	7,5	1	2,232	2,078
0,2	0,03279	1	7,53	1	2,232	2,078
0,25	0,03279	1	7,54	1	2,232	2,078
0,3	0,03279	1	7,53	1	2,232	2,078

Nota: Concentración empleadas de sulfito de sodio y PAM-C, y valores obtenidos de pH final y concentración de Cr VI. Elaborado por: Los autores

Prueba 2

Para esta prueba se empleó el uso de hidróxidos de sodio, de acuerdo con (Minas et al., 2017) el valor de pH es el factor más importante para lograr una precipitación química del cromo (VI) y el hidróxido cromo Cr(OH)₃. La precipitación de Cr(VI) se da a un pH de 5.9-9,6, teniendo como porcentaje mínimo de precipitación de 96,26% a un pH menor de 5,9 y el porcentaje máximo de precipitación 99.97% a pH de 9,6.

Reacción de prueba 2

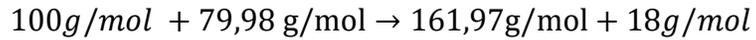
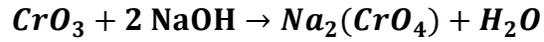


Tabla 27

Prueba 2 de precipitación de cromo VI

Concentración PAM-A g/L	Na(OH) (ml)	pH optimo	Concentración de cromo VI mg/L		
			Cr(VI)	CrO ₄	Cr ₂ O ₇
0,05	6,2	9,52	1	2,232	2,078
0,1	6,2	9,52	1	2,232	2,078
0,15	6,2	9,55	1	2,232	2,078
0,2	6,2	9,55	1	2,232	2,078
0,25	6,2	9,51	1	2,232	2,078
0,3	6,2	9,52	1	2,232	2,078

Nota: Concentraciones de PAM-A e Hidróxido de sodio, así como contracciones de Cromo VI

obtenidas con esta prueba. Elaborado por: Los autores

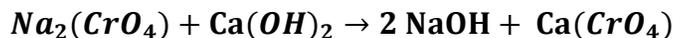
Prueba 3

Reacciones de peso óptimo de hidróxido de calcio

Según (Minas et al., 2017), el pH máximo para lograr la precipitación de cromo es de pH 8.6-10.3 con una eficiencia del 99.97% , es importante tener en cuenta que a un pH de 5,9 se

tiene una mínima precipitación de cromo, con una eficiencia de 95,26%. El rango de pH se debe a que la solubilidad de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ es baja y posee una pequeña constante del producto de solubilidad de $\text{KSP} = 7.9 \times 10^{-6}$ a 25 °C. Por tal razón se debe calcular el peso óptimo de hidróxido de calcio ya que el pH aumentara gradualmente en esta prueba.

Reacción de prueba 3



$$161,971 \text{ g/mol} + 74,093 \text{ g/mol} \rightarrow 79,994 \text{ g/mol} + 156,072 \text{ g/mol}$$

Datos complementarios

$$\text{Concentracion de Cr (VI)} = 2232 \text{ g/l} = 2,232 \text{ mg/L (CrO}_4)$$

$$\text{Eficincia del Ca(OH)}_2 = 96 \%$$

$$\frac{161,971 \text{ g Na}_2(\text{CrO}_4)}{156,072 \text{ g Ca}(\text{CrO}_4)} * 2,221 \frac{\text{mg}}{\text{L}} (\text{CrO}_4) = 2,305 \frac{\text{mg}}{\text{L}} (\text{CrO}_4)$$

$$2,31 \frac{\text{mg}}{\text{L}} (\text{CrO}_4) * \frac{1 \text{ mol}}{161,971 \text{ g Na}_2(\text{CrO}_4)} * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} = 1,423 * 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$1,423 * 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{l}} * 74,093 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 1,0544 * 10^{-3} = 1,0544 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$\text{peso óptimo: } \frac{1,71 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{0,96} = 1,098 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Tabla 28

Prueba 3 de precipitación de cromo VI

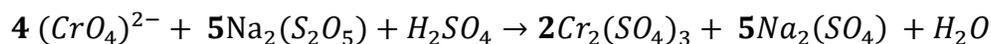
Concentración		Concentración de cromo VI				
Ca(OH) ₂		Conductividad	Turbidez	mg/L		
(mg/L)(g/L)	pH final	mV	NTU	Cr(VI)	CrO ₄	Cr ₂ O ₇
1,098 mg/L	9,24	289	0,44	1	2,232	2,078
0,01 g/L	9,43	288	0,72	1	2,232	2,078
0,1 g/L	10,32	186	1,32	1	2,232	2,078
0,5 g/L	11,59	102	1,65	1	2,232	2,078
1 g/L	12,42	89	1,7	1	2,232	2,078
2 g/L	12,91	25	1,78	1	2,232	2,078

Nota: Concentración de Hidróxido de sodio empleada para esta prueba, así como la conductividad turbidez y pH, así como concentración de cromo VI. Elaborado por: Los autores

Prueba 4

Según (Ramakrishnaiah y Prathima, 2020), para lograr la reducción de Cr(VI) a Cr (III) se da a un pH óptimo de 2, esto se logra mediante el uso de ácido sulfúrico a una velocidad de mezclado de 50 rpm y el tiempo de contacto de 5 minutos con la dosis de metabisulfito de sodio de 80 mg/L, estas condiciones mencionadas anteriormente son las óptimas para la reducción de Cr(VI) en un tiempo de contacto de 5 minutos.

Reacción de prueba 4



$$463,98 \text{ g/mol} + 950,53 \text{ g/mol} + 98,079 \text{ g/mol} \rightarrow 784,36 \text{ g/mol} + 710,21 \text{ g/mol} + 18,02 \text{ g/mol}$$

Tabla 29

Prueba 4 de precipitación de cromo VI

Concentración Metabisulfito Na (mg/L)	H ₂ SO ₄ (ml)	pH inicial	pH + metabisulfito	pH +metabisulfito +H ₂ SO ₄	Turbidez posterior Jar Test	Concentración de cromo VI mg/L		
						Cr(VI)	CrO ₄	Cr ₂ O ₇
10	12	7,35	6,51	2,45	1,21	1	2,232	2,078
30	12	7,53	6,56	2,05	0,89	1	2,232	2,078
50	12	8,13	6,59	2,1	1,95	1	2,232	2,078
80	12	8,47	6,63	2,25	0,96	0,045	0,093	0,1
100	12	8,94	6,71	2,34	0,86	0,042	0,087	0,097
150	12	9,41	6,78	3,09	1,52	0,017	0,035	0,037
200	12	9,5	6,8	2,43	0,63	0,0335	0,077	0,072
250	12	9,71	6,81	1,79	0,69	0,045	0,1	0,093
300	12	9,79	6,89	1,81	0,58	0,099	0,091	0,091

Nota: Concentración de cromo VI, así como datos de concentraciones de metabisulfito de sodio

ideal para lograr la precipitación del metal analizado. Elaborado por: Los autores

Después de haber realizado las 4 pruebas para lograr la precipitación del cromo, se puede afirmar que la prueba 4 con la aplicación de metabisulfito de sodio es la efectiva, debido a que la concentración de cromo VI en sus tres formas es de 0,017 mg/L Cr VI, CrO₄ 0,035 mg/L y 0,037 mg/L Cr₂O₇, llegando con este valor a cumplir norma según el AM097-A.

Análisis de calidad de agua del método efectivo

Tabla 30

Parámetros de calidad con el método eficiente de remoción de Cr VI - enjuague de cromo

Parámetro	Valor	Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público	Cumple No cumple N/A
DQO	0 mg/L	500 mg/L	Cumple
pH	3,09	6-9	No cumple
Conductividad	392 mV	N/A	N/A
Turbidez	1,52 NTU	N/A	N/A
Sólidos sedimentables	0 ml/l	20 ml/L	Cumple
Color (apreciable dilución 1/20)	No apreciable	N/A	N/A
Aluminio	0 mg/L	5 mg/L	Cumple
Cadmio	0,00021 mg/L	0,02 mg/L	Cumple
Cobalto	0,01367 mg/L	0,5 mg/L	Cumple
Cobre	0,06 mg/L	1 mg/L	Cumple
Cromo VI	0,17 mg/L	0,5 mg/L	Cumple
Níquel	0,97 mg/L	2 mg/L	Cumple
Plomo	0,02263 mg/L	0,5 mg/L	Cumple

Nota: Parámetros de calidad de agua obtenidos con el método efectivo que fue la prueba 4, con

la aplicación del metabisulfito de sodio. Elaborado por: Los autores

4.1.1.3.2 Níquel.

Prueba 1

Para este método se empleó el uso de hidróxidos de sodio, según (Ain et al., 2019) afirma que el tratamiento con hidróxido es el método de precipitación más común y ampliamente utilizado para la eliminación de metales pesados de aguas residuales industriales. Pero es importante tener en cuenta que este método tiene su limitación en el tratamiento mixto, debido a que todos los hidróxidos metálicos no precipitan.

Reacción de prueba 1

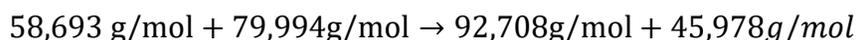
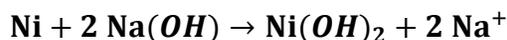


Tabla 31

Prueba 1 de precipitación de níquel

Concentración PAM-C (g/L)	Na(OH) (ml)	pH optimo	Concentración de níquel mg/L
0,05	5	7,53	1350
0,1	5	7,56	1330
0,15	5	7,55	1337
0,2	5	7,56	1290
0,25	5	7,57	1280
0,3	5	7,55	1320

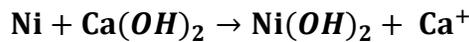
Nota: Concentración obtenidas de la prueba 1 con la aplicación de Hidróxido de sodio y PAMC.

Elaborado por: Los autores.

Prueba 2

En esta prueba se utiliza Ca(OH)_2 “hidróxido de calcio” como cofloculantes, Las dosis varían general mente hasta alcanzar pHs alcalinos entre 8 y 10 ya que es ahí donde los metales son más insolubles y por consiguiente fáciles de precipitar. Para esta prueba se basó en la figura 32, la cual nos muestra que el níquel precipita a pH 8-10, la realización del cálculo de peso optimo sirve como peso base el cual debe ir aumentando progresivamente hasta el punto que el níquel precipite en forma de hidróxido y para evaluar si existe precipitación menor a ese peso de igual manera se disminuye el peso óptimo de manera progresiva.

Reacción de prueba 2



$$58,693 \text{ g/mol} + 74,093\text{g/mol} \rightarrow 92,708\text{g/mol} + 40,78\text{g/mol}$$

Datos complementarios

$$\text{Concentracion de Ni} = \frac{1,51\text{g}}{\text{L}} = 1510 \text{ mg/L(Ni)}$$

$$\text{Eficincia del Ca(OH)}_2 = 96 \%$$

$$\frac{58,693 \text{ g Ni}}{92,708 \text{ g Ni(OH)}_2} * 1510 \text{ mg/L (Ni)} = 955,97 \text{ mg/L (Ni)}$$

$$955,597 \frac{\text{mg}}{\text{L}} (\text{CrO}_4) * \frac{1\text{mol}}{58,693 \text{ g Ni}} * \frac{1\text{g}}{1000 \text{ mg}} * \frac{74,093\text{g}}{\text{mol}} = 1,207 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

$$1,207 \frac{\text{g}}{\text{l}} * \frac{1000\text{mg}}{1 \text{ g}} = 1207 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$\text{peso óptimo: } \frac{1207 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{0,96} = 1257,29 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Tabla 32*Prueba 2 de precipitación de Níquel*

Ca(OH)₂ (mg/L)	pH_o	pH_f	Concentración de níquel (mg/L)	Turbidez NTU
500	6,37	9,14	100	6,42
600	6,64	8,94	830	6,8
700	6,77	8,67	540	2,34
1000	7,3	9,55	570	2,04
1257,29	7,5	9,67	670	2,58
1500	7,9	9,73	0	4,79

Nota: Datos obtenidos de la aplicación de hidróxido de calcio y las concentraciones de níquel obtenidas con esta prueba 2. Elaborado por: Los autores

Después de haber realizado las 2 pruebas para lograr la precipitación del níquel, se puede afirmar que la prueba 2 con aplicación de hidróxido de calcio es la efectiva, debido a que la concentración de níquel es de 0 mg/L, llegando con este valor a cumplir norma según el AM097-A.

Análisis de calidad de agua del método efectivo

Tabla 33

Parámetros de calidad de agua de enjuague de níquel aplicado hidróxido de calcio

Parámetro	Valor	Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público	Cumple No cumple N/A
DQO	0 mg/L	500 mg/L	Cumple
pH	9,73	6-9	No cumple
Conductividad	143 mV	N/A	N/A
Turbidez	4,79 NTU	N/A	N/A
Sólidos sedimentables	235 ml/l	20 ml/L	No cumple
Color (apreciable dilución 1/20)	No apreciable	N/A	N/A
Aluminio	0 mg/L	5 mg/L	Cumple
Cadmio	0,00203 mg/L	0,02 mg/L	Cumple
Cobalto	0,01356 mg/L	0,5 mg/L	Cumple
Cobre	0,81 mg/L	1 mg/L	Cumple
Cromo VI	0,434 mg/L	0,5 mg/L	Cumple
Níquel	0 mg/L	2 mg/L	Cumple
Plomo	0,03338 mg/L	0,5 mg/L	Cumple

Nota: Parámetros de calidad analizados de la prueba efectiva analizada para enjuague de níquel.

Elaborado por: Los autores

4.1.1.4 Resultados de análisis de remoción de metales por procesos de precipitación química.

4.1.1.4.1 Eficiencia de Jar Test –método PAC.

Con los valores obtenidos en el anexo 10, se realizó el respectivo cálculo de remoción para cada metal mediante el método de PAC, teniendo como resultado que tanto para el cadmio y cobalto no se obtuvo ningún % de remoción. Se obtuvo porcentajes altos de remoción para los metales de aluminio, cobre, níquel y plomo, siendo de 96,88% aluminio y 90,67% plomo para el enjuague neutralizante y 60,24 % cobre y 100% níquel para el enjuague de cromo.

- Porcentaje de remoción de metales pesados “método de PAC”

Tabla 34

Tabla resumen de porcentaje de remoción por el método de PAC

Porcentaje de remoción -PAC			
	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
Aluminio	38,71	0*	96,88
Cadmio	0**	0**	0**
Cobalto	0*	0**	0**
Cobre	60,24	29,73	26,92
Cromo VI	20,00	0**	0**
Níquel	100	0**	0*
Plomo	44,99	0**	90,67

Nota: * valores que se dividieron para 0*, 0** valores que tenían porcentajes negativos.

Elaborado por: Los autores

4.1.1.4.2 Eficiencia de Jar Test – método de cloruro de férrico

Con los valores obtenidos en el anexo 11, se realizó el respectivo cálculo de remoción para cada metal mediante el método de cloruro férrico, teniendo como resultado que tanto para el cadmio y cobalto no se obtuvo ningún % de remoción. Se obtuvo porcentajes altos de remoción para los metales de aluminio, cobre, níquel y plomo, siendo de 100% aluminio y 88,5 % cobre para el enjuague neutralizante, y 100 % níquel y 73,8% plomo para el enjuague de cromo.

- Porcentaje de remoción de metales pesados “método de cloruro férrico”

Tabla 35

Tabla resumen de porcentaje de remoción por el método de cloruro férrico

Porcentaje de remoción FeCl₃			
	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
Aluminio	3,2	0*	100,0
Cadmio	0**	0**	0**
Cobalto	0*	0**	0**
Cobre	51,8	32,4	88,5
Cromo VI	13,9	32,2	0**
Níquel	100,0	0**	0*
Plomo	73,8	0**	88,1

Nota: * valores que se dividieron para 0*, 0** valores que tenían porcentajes negativos.

Elaborado por: Los autores

4.1.1.4.3 Eficiencia de Jar Test- Método de sulfato de aluminio

Con los valores obtenidos en el anexo 12, se realizó el respectivo cálculo de remoción para cada metal mediante el método de sulfato de aluminio, teniendo como resultado que el cobalto no obtuvo ningún % de remoción. Se obtuvieron porcentajes altos de remoción para los metales de aluminio, cobre, níquel y plomo, siendo de 100% aluminio y 64,10% cobre y 96,01% plomo para el enjuague neutralizante, y para el enjuague de cromo se obtuvieron porcentajes de remoción de 77,42% aluminio, 72,89 % cobre, 100% níquel y 77,20% plomo.

- Porcentaje de remoción de metales pesados “método de sulfato de aluminio”

Tabla 36

Tabla resumen de porcentaje de remoción por el método de sulfato de aluminio

Porcentaje de remoción - sulfato de aluminio			
	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
Aluminio	77,42	0,00	100
Cadmio	2,17	0**	0**
Cobalto	0*	0**	0**
Cobre	72,89	43,24	64,10
Cromo VI	36,74	18,88	0**
Níquel	100	0*	0*
Plomo	77,20	0**	96,01

Nota: * valores que se dividieron para 0, ** valores que tenían porcentajes negativos. Elaborado por: Los autores

Después de haber realizado el análisis de los 3 métodos (PAC, cloruro férrico y sulfato de aluminio), se puede afirmar que el porcentaje de remoción para cromo VI y de níquel en sus respectivos enjuagues son muy bajos, debido a que presentaron una alta concentración de los mismos.

4.1.1.4.4 Eficiencia de Jar Test- precipitación de cromo método efectivo

Estos datos fueron realizados en base a los parámetros de calidad de agua obtenido de la prueba 4 para precipitación de cromo VI, con la aplicación de metabisulfito de sodio.

Tabla 37

Concentración de metales –enjuague de cromo- metabisulfito de sodio

Concentraciones Metales							
	Aluminio	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo VI	Níquel	Plomo
1	0	0,00024	0,01368	0,07	0,14	1	0,02269
2	0	0,00019	0,01364	0,03	0,18	0,93	0,02259
3	0	0,0002	0,01369	0,08	0,19	0,98	0,02261
Promedio	0	0,00021	0,01367	0,06	0,17	0,97	0,02263
SD	0	2,6458E-05	2,6458E-05	0,02645751	0,02645751	0,03605551	5,2915E-05

Nota: Concentración de aluminio, cadmio, cobalto, cobre, cromo VI, níquel y plomo, aplicado metabisulfito de sodio. Elaborado por: Los autores

En la Tabla 37, se puede evidenciar que con la aplicación metabisulfito de sodio se pudo precipitar el cromo VI con una concentración de 0,17 mg/L y que el único metal que no está

presente este enjuague es el aluminio. Las concentraciones de dichos metales fueron comparadas con el AM097-A para verificar el cumplimiento de la normativa ambiental.

Tabla 38

Porcentaje de remoción de Metales mediante metabisulfito de Sodio

Porcentaje de remoción de Metales						
Aluminio	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo VI	Níquel	Plomo
100	54,35	0	96,39	82,1052632	99,90	72,11

Nota: Porcentajes de remoción en los metales de aluminio, cadmio, cobalto, cobre, cromo VI, níquel y plomo, aplicado metabisulfito de sodio. Elaborado por: Los autores

En la Tabla 38, se puede observar que el único metal que no disminuyó nada fue el cobalto, pero se obtuvo porcentajes de remoción alto para aluminio, cobre, cromo VI, níquel y plomo.

4.1.1.4.5 Eficiencia de Jar Test- precipitación de níquel método efectivo.

Estos datos fueron realizados en base a los parámetros de calidad de agua obtenidos en la prueba 2 de precipitación de níquel mediante la aplicación de hidróxido de calcio.

Tabla 39*Concentración de metales – enjuague de níquel –hidróxido de calcio*

Concentraciones Metales							
	Aluminio	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo VI	Níquel	Plomo
1	0	0,002	0,01355	0,82	0,432	0	0,03335
2	0	0,00207	0,01353	0,78	0,437	0	0,0334
3	0	0,00202	0,0136	0,83	0,433	0	0,03339
Promedio	0	0,00203	0,01356	0,81	0,434	0	0,03338
SD	0	3,6056E-05	3,6056E-05	0,02645751	0,002645751	0	2,6458E-05

Nota: Concentración de los metales de aluminio, cadmio, cobalto, cobre, cromo VI, níquel y plomo, aplicado hidróxido de calcio. Elaborado por: Los autores

En la Tabla 39, se puede evidenciar que con la aplicación hidróxido de calcio se logró la precipitación del níquel obteniéndose una concentración de 0 mg/L y que el único metal que no está presente en este enjuague es el aluminio. Las concentraciones de dichos metales fueron comparadas con el AM097-A para verificar el cumplimiento de la normativa ambiental.

Tabla 40

Porcentaje de remoción de metales mediante hidróxido de calcio

Porcentaje de Remoción de Metales						
Aluminio	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo VI	Níquel	Plomo
0	-62,40	54,97	-118,92	-203,50	100	38,90

Nota: Porcentajes de remoción en los metales de aluminio, cadmio, cobalto, cobre, cromo VI, níquel y plomo, aplicado hidróxido de calcio. Elaborado por: Los autores

En la Tabla 40, se observa metales que en vez de disminuir aumentaron su concentración como es el caso de cadmio, cromo VI y cobre, por tal motivo presentan porcentajes negativos, pero a pesar de haber aumentado su concentración, siguen estando dentro de norma. En el caso de cobalto, níquel y plomo presentan porcentajes de remoción en el caso del níquel del 100%, cobalto 54,97% y plomo 38,90%, en el caso de los dos últimos no presentan un porcentaje de remoción significativo.

4.1.2 Determinación de porcentaje de remoción de aluminio.

Tabla 41

Resultados de porcentaje de remoción de aluminio en los enjuagues de cromo, níquel y neutralizante

	PAC	Cloruro férrico	Sulfato de Aluminio	Metabisulfito de sodio
Enjuague de cromo	53,13	15,63	81,25	100,00
	29,03	9,68	83,87	100,00
	33,33	0,00	66,67	100,00
Promedio	38,50	8,43	77,26	100,00
SD	12,85	7,8863467	9,2694036	0
	PAC	Cloruro férrico	Sulfato de aluminio	Hidróxido de calcio
Enjuague de níquel	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00
Promedio	0,00	0	0	0
SD	0,00	0	0	0
	PAC	Cloruro férrico	Sulfato de aluminio	
Enjuague neutralizante	96,97	100	100	
	100,00	100	100	
	93,75	100	100	
Promedio	96,91	100	100	
SD	3,13	0	0	

Nota: Tabla comparativa de métodos aplicado y su porcentaje de remoción de aluminio por enjuague evaluado. Elaborado por: Los autores

En el enjuague de níquel no se evidencia presencia de aluminio, por lo cual presenta un porcentaje de remoción de 0 %, en el enjuague de cromo posee porcentajes de remoción altos para el presente metal en los métodos de sulfato de aluminio y metabisulfito de sodio y en el enjuague de neutralizante los métodos con mayor efectividad para la remoción de este metal están el de cloruro férrico y sulfato de aluminio.

4.1.2.1 Análisis ANOVA para la remoción de aluminio en el enjuague de cromo, níquel y neutralizante.

4.1.2.1.1 Enjuague de cromo.

Tabla 42

Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de aluminio en el enjuague de cromo

Análisis de varianza: Single Factor				Alpha	0,05	
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad p-value</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	14870,87184	3	4956,95728	63,3016068	6,46389E-06	4,06618055
Dentro de los grupos	626,4557921	8	78,306974			
Total	15497,32764	11				

Nota: Con el análisis de ANOVA se determina el nivel de significancia. Elaborado por: Los autores

En función de los datos obtenidos en la Tabla 42, mediante ANOVA, se obtienen valores de p-value menor a 0,05 y el valor de F mayor al valor crítico, por lo que la hipótesis es significativa, es decir se rechaza la hipótesis nula, afirmando que las medias no son iguales, lo que significa que existen algunos métodos evaluados no poseen un porcentaje de remoción alto o a su vez aumentan su concentración en vez el disminuirla.

Tabla 43

Prueba de Tukey enjuague de cromo-análisis de aluminio

<i>group 1</i>	<i>group 2</i>	<i>mean</i>	<i>std err</i>	<i>q-stat</i>	<i>Lower</i>	<i>upper</i>	<i>p-value</i>	<i>mean-crit</i>	<i>Cohen d</i>
	Cloruro								
PAC	férrico	30,063	5,109	5,884	6,924	53,202	0,013	23,139	3,397
	Sulfato de								
PAC	aluminio	38,766	5,109	7,588	15,627	61,905	0,003	23,139	4,381
	Metabisulfito								
PAC	de sodio	61,503	5,109	12,038	38,364	84,642	0,000	23,139	6,950
Cloruro	Sulfato de								
férrico	aluminio	68,828	5,109	13,472	45,690	91,967	0,000	23,139	7,778
Cloruro	Metabisulfito								
férrico	de sodio	91,566	5,109	17,922	68,427	114,705	0,000	23,139	10,347
Sulfato de	Metabisulfito								
aluminio	de sodio	22,737	5,109	4,450	-0,401	45,876	0,054	23,139	2,569

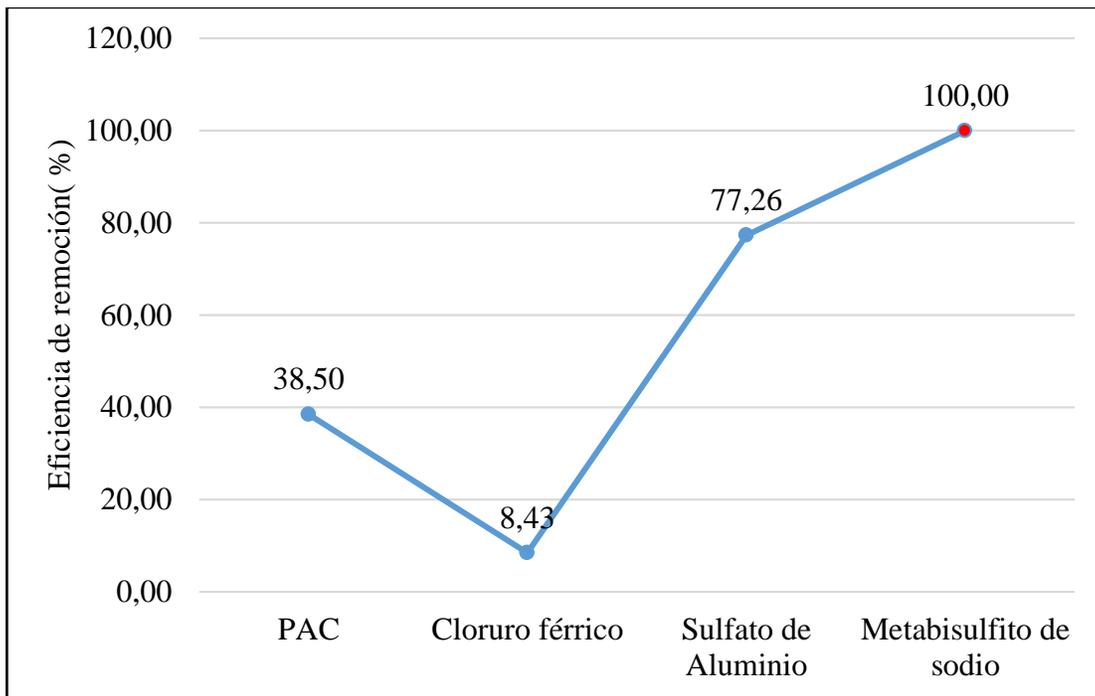
Nota: Análisis de varianza mediante prueba de Tukey enjuague de cromo-análisis de aluminio y.

Elaborado por: Los autores

En la tabla 43 se aprecia con la prueba de Tukey, que existen diferencias significativas entre los grupos de Sulfato de aluminio vs Metabisulfito de sodio, ya que los valores de p-value son mayores al 0,05, por lo que la hipótesis no es significativa y por lo tanto sus medias no son iguales, resultando que el tratamiento funciona correctamente.

Figura 12

Comparación de porcentajes de remoción del aluminio en el enjuague de cromo por métodos evaluados.



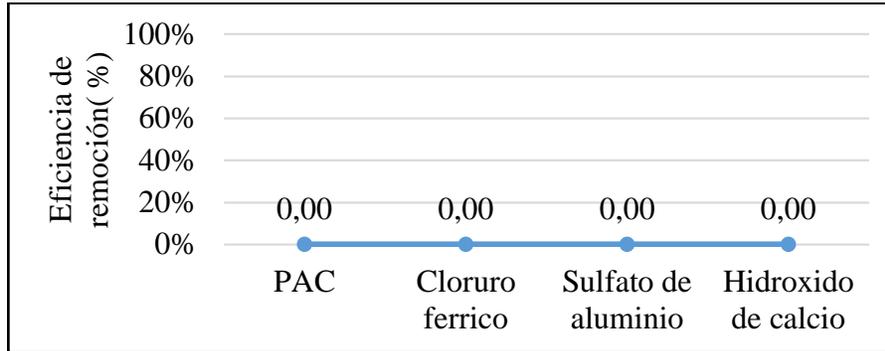
Nota: El grafico representa la relación entre la eficiencia de remoción de aluminio vs el método aplicado en el enjuague de cromo. Elaborado por: Los autores

4.1.2.1.2 Enjuague de níquel.

Debido a la ausencia del aluminio en el presente enjuague únicamente se realizó la representación gráfica ya que al momento de realizar ANOVA/TUKEY, da valores indefinidos.

Figura 13

Comparación de porcentajes de remoción de aluminio en el enjuague de níquel por métodos evaluados.



Nota: El grafico representa la relación entre la eficiencia de remoción de aluminio vs el método aplicado en el enjuague de níquel. Elaborado por: Los autores

4.1.2.1.3 Enjuague neutralizante.

Tabla 44

Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de aluminio en el enjuague de neutralizante

Análisis de varianza: Single Factor				Alpha	0,05
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>Probabilidad p-value</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	19,1386721	2	9,56933604	2,93880049	0,128904345
Dentro de los grupos	19,5372283	6	3,25620472		5,14325285
Total	38,6759004	8			

Nota: Con el análisis de ANOVA se determina el nivel de significancia. Elaborado por: Los autores

En función de los datos obtenidos en la Tabla 44, mediante ANOVA, se obtienen valores de p-value mayor a 0,05 y el valor de F menor al valor crítico, por lo cual el experimento no es significativo, afirmando que para los 3 métodos aplicados para la remoción de este metal poseen un porcentaje similar.

Tabla 45

Prueba de Tukey enjuague neutralizante -análisis aluminio

<i>group 1</i>	<i>group 2</i>	<i>mean</i>	<i>std err</i>	<i>q-stat</i>	<i>lower</i>	<i>upper</i>	<i>p-value</i>	<i>mean-crit</i>	<i>Cohen d</i>
	Cloruro								
PAC	férrico	3,0934	1,0418	2,9692	-1,4270	7,6139	0,1701	4,5205	1,714293
	Sulfato								
	de								
PAC	aluminio	3,0934	1,0418	2,9692	-1,4270	7,6139	0,1701	4,5205	1,714293
	Sulfato								
	Cloruro de								
férrico	aluminio	0,0000	1,0418	0,0000	-4,5205	4,5205	0,9999	4,5205	0

Nota: Análisis de varianza mediante prueba de Tukey enjuague neutralizante –análisis de aluminio.

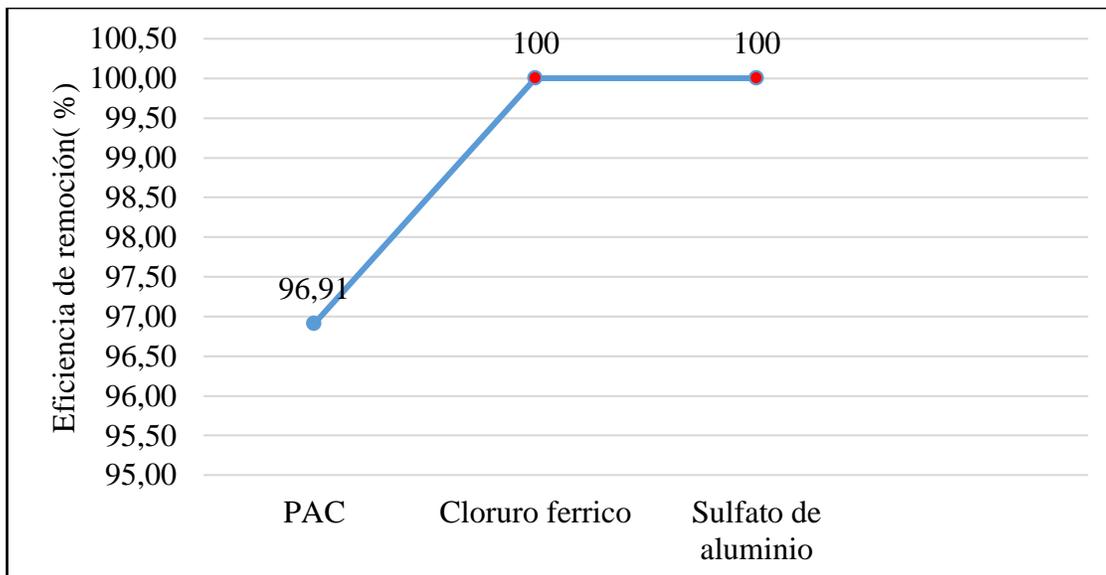
Elaborado por: Los autores

En la Tabla 45, se aprecia con la prueba de Tukey, que existen diferencias significativas entre los grupos de PAC vs Cloruro férrico, PAC vs Sulfato de aluminio y Cloruro férrico vs

Sulfato de aluminio, ya que los valores de p-value son mayores al 0,05, por lo que la hipótesis no es significativa y por lo tanto sus medias son iguales, resultando que el tratamiento funciona correctamente.

Figura 14

Comparación de porcentajes de remoción de aluminio en el enjuague neutralizante por métodos evaluados.



Nota: El grafico representa la relación entre la eficiencia de remoción de aluminio vs el método aplicado en el enjuague neutralizante. Elaborado por: Los autores.

4.1.3 Determinación de porcentaje de remoción de cadmio

Tabla 46

Resultados de porcentaje de remoción de cadmio en los enjuagues de cromo, níquel y neutralizante

Porcentaje de remoción de cadmio				
	PAC	Cloruro férrico	Sulfato de Aluminio	Metabisulfito de sodio
Enjuague de cromo	0,00	0,00	8,89	46,67
	0,00	0,00	4,17	60,42
	0,00	0,00	0,00	55,56
Promedio	0,00	0,00	4,35	54,21
SD	0,00	0	4,45	6,97
	PAC	Cloruro férrico	Sulfato de aluminio	Hidróxido de calcio
Enjuague de níquel	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00
Promedio	0,00	0,00	0,00	0,00
SD	0,00	0,00	0,00	0,00
	PAC	Cloruro férrico	Sulfato de aluminio	
Enjuague neutralizante	0,00	0,00	0,00	
	0,00	0,00	0,00	
	0,00	0,00	0,00	
Promedio	0,00	0,00	0,00	
SD	0,00	0,00	0,00	

Nota: Tabla comparativa de métodos aplicado y su porcentaje de remoción de cadmio por enjuague

evaluado. Elaborado por: Los autores

4.1.3.1 Análisis ANOVA para la remoción de cadmio en el enjuague de cromo, níquel y neutralizante.

4.1.3.1.1 Enjuague de cromo.

Tabla 47

Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de cadmio en el enjuague de cromo

Análisis de varianza: Single Factor					Alpha	0,05
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad p-value</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	6301,5738	3	2100,5246	122,8442543	4,97194E-07	4,0661806
Dentro de los grupos	136,7927	8	17,099087			
Total	6438,3664	11				

Nota: Con el análisis de ANOVA se determina el nivel de significancia. Elaborado por: Los autores

En función de los datos obtenidos en la Tabla 47, mediante ANOVA, se obtienen valores de p-value menor a 0,05 y el valor de F mayor al valor crítico, por lo cual el experimento es significativo, es decir se rechaza la hipótesis nula, afirmando que las medias no son iguales, lo que significa que existen algunos metales que no poseen un porcentaje de remoción alto para todos los métodos aplicados.

Tabla 48*Prueba de Tukey enjuague de cromo- análisis de cadmio*

<i>group 1</i>	<i>group 2</i>	<i>mean</i>	<i>std err</i>	<i>q-stat</i>	<i>lower</i>	<i>upper</i>	<i>p-value</i>	<i>mean-crit</i>	<i>Cohen d</i>
	Cloruro								
PAC	férrico	0,000	2,387	0,000	-10,813	10,813	0,99998	10,81	0,00
	Sulfato de								
PAC	Aluminio	4,352	2,387	1,823	-6,461	15,164	0,594	10,81	1,05
	Metabisulfito								
PAC	de sodio	54,213	2,387	22,708	43,400	65,026	0,000	10,81	13,11
Cloruro	Sulfato de								
férrico	Aluminio	4,352	2,387	1,823	-6,461	15,164	0,594	10,81	1,05
Cloruro	Metabisulfito								
férrico	de sodio	54,213	2,387	22,708	43,400	65,026	1,079E-06	10,81	13,11
Sulfato de	Metabisulfito								
Aluminio	de sodio	49,861	2,387	20,885	39,049	60,674	2,053E-06	10,81	12,06

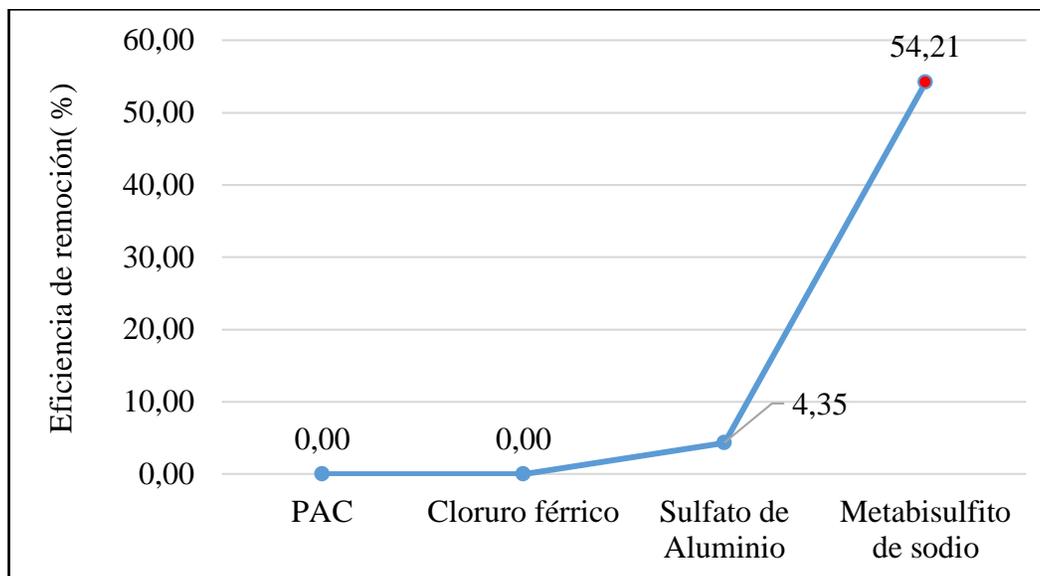
Nota: Análisis de varianza mediante prueba de Tukey enjuague de cromo-análisis de cadmio.

Elaborado por: Los autores

En la tabla 48 se aprecia con la prueba de Tukey, que existen diferencias significativas entre los grupos de PAC vs Cloruro férrico y PAC vs Sulfato de aluminio, ya que los valores de p-value son mayores al 0,05, por lo que la hipótesis no es significativa y por lo tanto sus medias son iguales.

Figura 15

Comparación de porcentajes de remoción de cadmio en el enjuague de cromo por métodos evaluados.



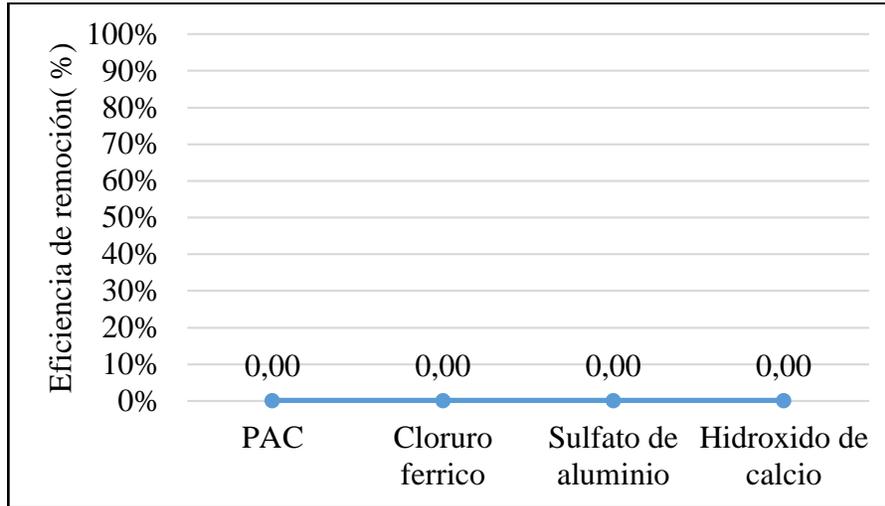
Nota: El grafico representa la relación entre la eficiencia de remoción de cadmio vs el método aplicado en el enjuague de cromo. Elaborado por: Los autores

4.1.3.1.2 Enjuague de níquel/neutralizante.

Debido a la remoción nula de cadmio con los métodos evaluados en el enjuague de níquel y neutralizante, únicamente se realizó la representación gráfica ya que al momento de realizar ANOVA/TUKEY, da valores indefinidos o erróneos.

Figura 16

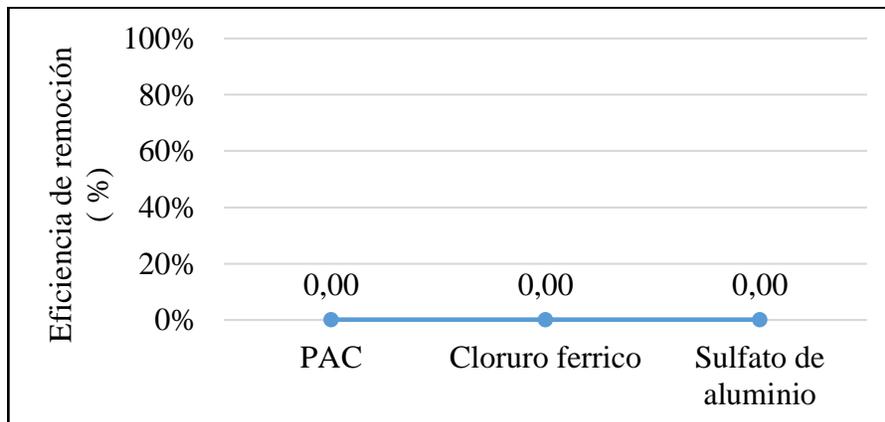
Comparación de porcentajes de remoción de cadmio en el enjuague de níquel por métodos evaluados



Nota: El grafico representa la relación entre la eficiencia de remoción de cadmio vs el método aplicado en el enjuague de níquel. Elaborado por: Los autores

Figura 17

Comparación de porcentajes de remoción de cadmio en el enjuague neutralizante por métodos evaluados.



Nota: El grafico representa la relación entre la eficiencia de remoción de cadmio vs el método aplicado en el enjuague neutralizante. Elaborado por: Los autores

4.1.4 Determinación de porcentaje de remoción de cobalto

Tabla 49

Resultados de porcentaje de remoción de cobalto en los enjuagues de cromo, níquel y neutralizante

Porcentaje de remoción de cobalto				
	PAC	Cloruro férrico	Sulfato de Aluminio	Metabisulfito de sodio
Enjuague de cromo	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00	0,00
Promedio	0,00	0,00	0,00	0,00
SD	0,00	0,00	0,00	0,00
	PAC	Cloruro férrico	Sulfato de aluminio	Hidróxido de calcio
Enjuague de níquel	0,00	0,00	0,00	55,03
	0,00	0,00	0,00	55,05
	0,00	0,00	0,00	54,82
Promedio	0,00	0,00	0,00	54,97
SD	0,00	0,00	0,00	0,13
	PAC	Cloruro férrico	Sulfato de aluminio	
Enjuague neutralizante	0,00	0,00	0,00	
	0,00	0,00	0,00	
	0,00	0,00	0,00	
Promedio	0,00	0,00	0,00	
SD	0,00	0,00	0,00	

Nota: Tabla comparativa de métodos aplicado y su porcentaje de remoción de cobalto por enjuague

evaluado. Elaborado por: Los autores

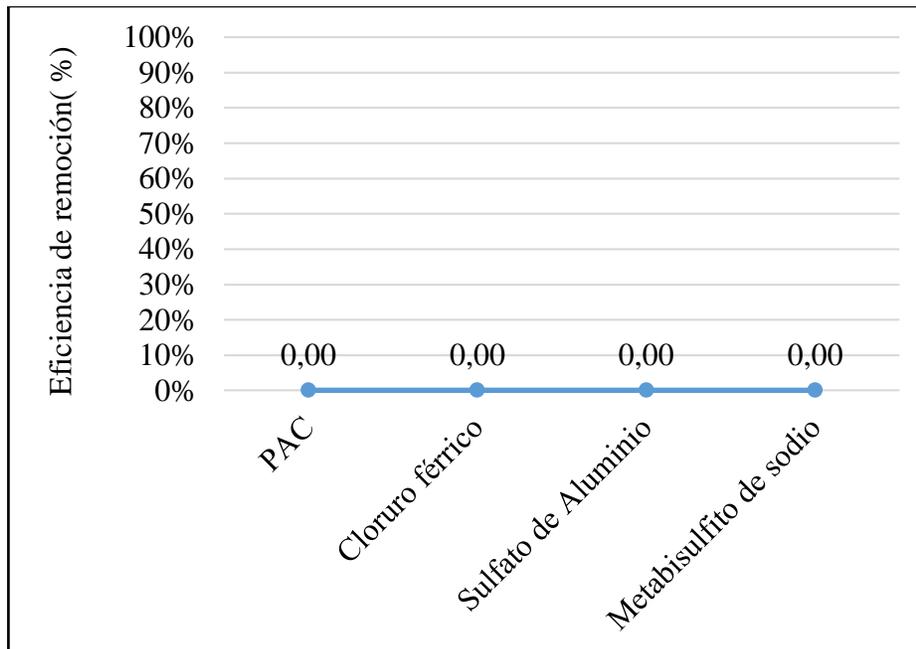
4.1.4.1 Análisis ANOVA para la remoción de cobalto en el enjuague de cromo, níquel y neutralizante.

4.1.4.1.1 Enjuague de cromo/ neutralizante.

Debido a la remoción nula de cobalto con los métodos aplicados en el enjuague de cromo y neutralizante, únicamente se realizó la representación gráfica ya que al momento de realizar ANOVA/TUKEY, da valores indefinidos o erróneos.

Figura 18

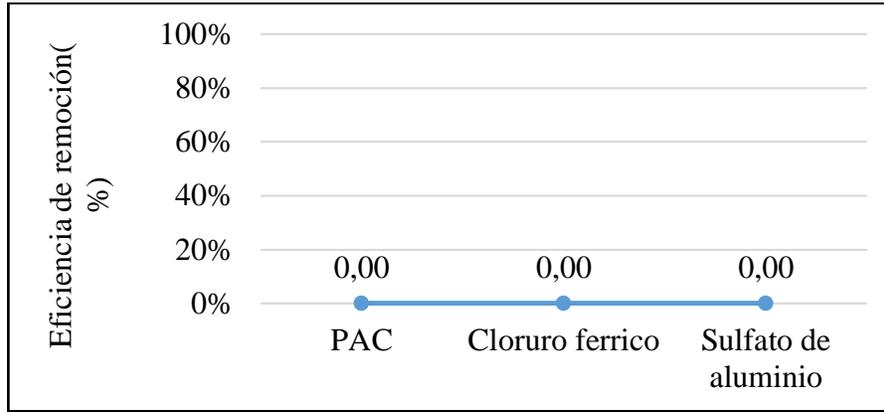
Comparación de porcentajes de remoción de cobalto en el enjuague de cromo por los métodos evaluados.



Nota: El gráfico representa la relación entre la eficiencia de remoción de cobalto vs el método aplicado en el enjuague de cromo. Elaborado por: Los autores

Figura 19

Comparación de porcentajes de remoción de cobalto en el enjuague neutralizante por los métodos evaluados



Nota: El gráfico representa la relación entre la eficiencia de remoción de cobalto vs el método aplicado en el enjuague de neutralizante. Elaborado por: Los autores.

4.1.4.1.2 Enjuague de níquel.

Tabla 50

Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de cobalto en el enjuague de níquel

Análisis de varianza: Single Factor				Alpha	0,05	
<i>Grados</i>						
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad p-value</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	6797,6167	3	2265,87223	549055,282	1,3693E-21	4,06618055
Dentro de los grupos	0,03301485	8	0,00412686			
Total	6797,64971	11				

Nota: Con el análisis de ANOVA se determina el nivel de significancia. Elaborado por: Los autores

En función de los datos obtenidos en la Tabla 50, mediante ANOVA, se obtienen valores de p-value menor a 0,05 y el valor de F mayor al valor crítico, por lo cual el experimento es significativo, es decir se rechaza la hipótesis nula, afirmando que las medias no son iguales, lo que significa que existen algunos métodos que no poseen un porcentaje de remoción alto dentro del enjuague evaluado.

Tabla 51

Prueba de Tukey enjuague de níquel – análisis de cobalto

<i>group 1</i>	<i>group 2</i>	<i>mean</i>	<i>std err</i>	<i>q-stat</i>	<i>lower</i>	<i>upper</i>	<i>p-value</i>	<i>mean-crit</i>	<i>Cohen d</i>
PAC	Cloruro férico	0,00	0,04	0,00	-0,17	0,17	0,9987	0,17	0,00
PAC	Sulfato de aluminio	0,00	0,04	0,00	-0,17	0,17	0,9977	0,17	0,00
PAC	Hidróxido de calcio	54,97	0,04	1481,97	54,80	55,13	1,96E-12	0,17	855,61
Cloruro férico	Sulfato de aluminio	0,00	0,04	0,00	-0,17	0,17	0,9997	0,17	0,00
Cloruro férico	Hidróxido de calcio	54,97	0,04	1481,97	54,80	55,13	1,96E-12	0,17	855,61
Sulfato de aluminio	Hidróxido de calcio	54,97	0,04	1481,97	54,80	55,13	1,96E-12	0,17	855,61

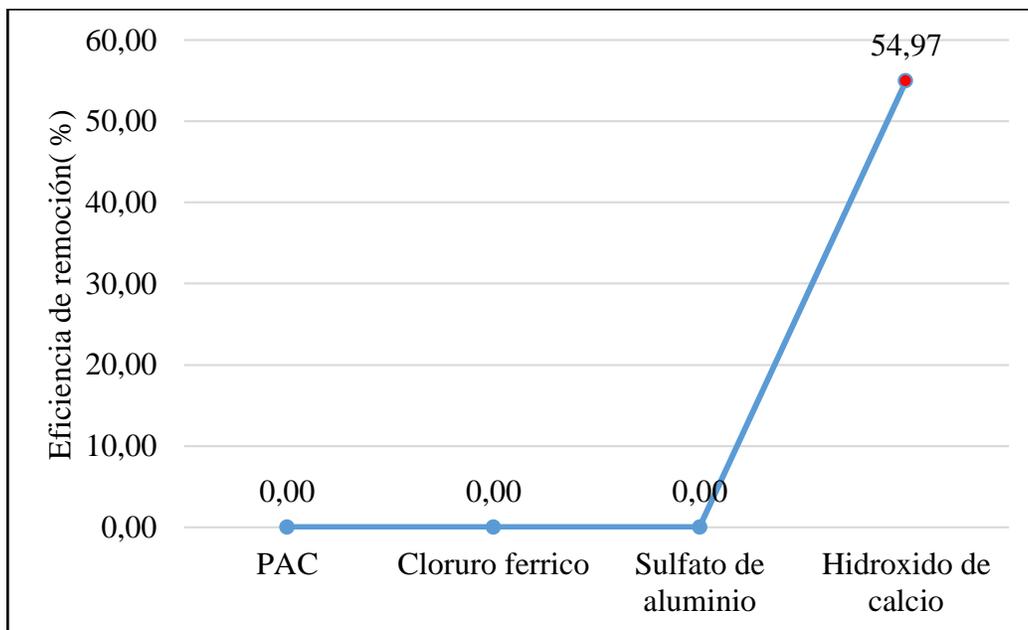
Nota: Análisis de varianza mediante prueba de Tukey enjuague de níquel – análisis de cobalto.

Elaborado por: Los autores

En la Tabla 51, se aprecia con la prueba de Tukey, que existen diferencias significativas entre los grupos de PAC vs Cloruro férrico, PAC vs Sulfato de aluminio y Cloruro férrico vs Sulfato de aluminio, ya que los valores de p-value son mayores al 0,05, por lo que la hipótesis no es significativa y por lo tanto sus medias son iguales.

Figura 20:

Comparación de porcentajes de remoción de cobalto en el enjuague de níquel por métodos evaluados.



Nota: El grafico representa la relación entre la eficiencia de remoción de cobalto vs el método aplicado en el enjuague de níquel. Elaborado por: Los autores

4.1.5 Determinación de porcentaje de remoción de cobre

Tabla 52

Resultados de porcentaje de remoción de cobre en los enjuagues de cromo, níquel y neutralizante

Porcentaje de remoción de cobre				
	PAC	Cloruro férrico	Sulfato de aluminio	Metabisulfito de sodio
Enjuague de cromo	62,42	52,73	70,91	95,76
	57,67	49,08	73,62	98,16
	60,59	53,53	74,12	95,29
Promedio	60,23	51,78	72,88	96,40
SD	2,40	2,37	1,73	1,54
	PAC	Cloruro férrico	Sulfato de aluminio	Hidróxido de calcio
Enjuague de níquel	17,14	25,71	48,57	0,00
	40,48	33,33	52,38	0,00
	29,41	38,24	26,47	0,00
Promedio	29,01	32,43	42,47	0,00
SD	11,67	6,31	13,99	0,00
	PAC	Cloruro férrico	Sulfato de aluminio	
Enjuague neutralizante	36,00	96,00	60,00	
	31,03	79,31	62,07	
	12,50	91,67	70,83	
Promedio	26,51	88,99	64,30	
SD	12,39	8,66	5,75	

Nota: Tabla comparativa de métodos aplicado y su porcentaje de remoción de cobre por enjuague

evaluado. Elaborado por: Los autores.

4.1.5.1 Análisis ANOVA para la remoción de cobre en el enjuague de cromo, níquel y neutralizante.

4.1.5.1.1 Enjuague de cromo.

Tabla 53

Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de cobre en el enjuague de cromo

Análisis de varianza: Single Factor				Alpha	0,05	
<i>Promedio</i>					<i>Valor</i>	
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad p-value para F</i>	
Entre grupos	3397,70586	3	1132,5686	270,89189	2,213E-08	4,0661806
Dentro de los grupos	33,4471028	8	4,1808878			
Total	3431,15296	11				

Nota: Con el análisis de ANOVA se determina el nivel de significancia. Elaborado por: Los autores

En función de los datos obtenidos en la Tabla 53, mediante ANOVA, se obtienen valores de p-value menor a 0,05 y el valor de F mayor al valor crítico, por lo cual el experimento es significativo, es decir se rechaza la hipótesis nula, afirmando que las medias no son iguales, lo que significa que existen algunos métodos que no poseen un porcentaje de remoción alto dentro del enjuague evaluado.

Tabla 54*Prueba de Tukey enjuague de cromo – análisis de cobre*

<i>group 1</i>	<i>group 2</i>	<i>mean</i>	<i>std err</i>	<i>q-stat</i>	<i>lower</i>	<i>upper</i>	<i>p-value</i>	<i>mean-crit</i>	<i>Cohen d</i>
	Cloruro								
PAC	férrico	8,45	1,18	7,16	3,10	13,79	0,0043	5,3466	4,1317
	Sulfato de								
PAC	aluminio	12,66	1,18	10,72	7,31	18,00	0,0003	5,3466	6,1891
	Metabisulfito								
PAC	de sodio	36,18	1,18	30,64	30,83	41,52	1,01652E-07	5,3466	17,6927
Cloruro	Sulfato de								
férrico	aluminio	21,10	1,18	17,88	15,76	26,45	6,76841E-06	5,3466	10,3209
Cloruro	Metabisulfito								
férrico	de sodio	44,62	1,18	37,80	39,28	49,97	1,49213E-08	5,3466	21,8244
Sulfato de	Metabisulfito								
aluminio	de sodio	23,52	1,18	19,92	18,18	28,87	2,9477E-06	5,3466	11,5036

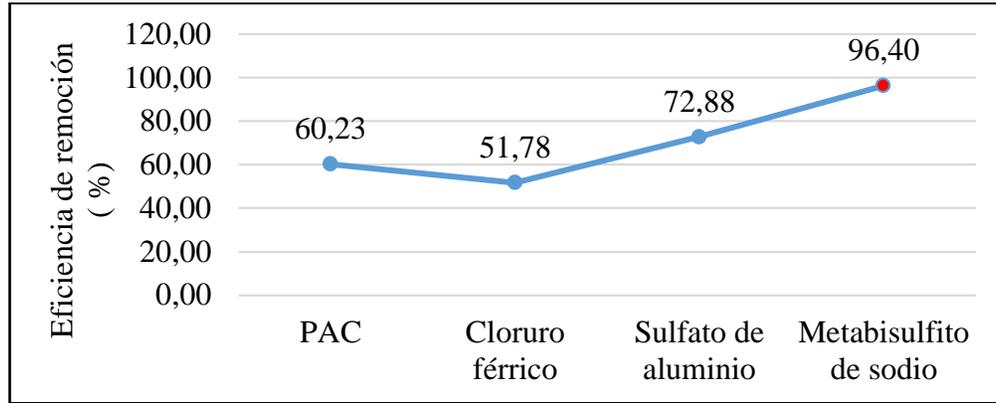
Nota: Análisis de varianza mediante prueba de Tukey enjuague de cromo – análisis de cobre.

Elaborado por: Los autores

En la Tabla 54, se aprecia, que en la relación de los cinco casos el p-value es menor a 0,05 del nivel de significancia por lo que la hipótesis nula rechaza, resultando que en pequeñas cantidades existe alteraciones en el porcentaje de remoción y solo el método de sulfato de aluminio vs metabisulfito de sodio es el que posee porcentajes de remoción mayores al 70%.

Figura 21

Comparación de porcentajes de remoción de cobre en el enjuague de cromo por métodos evaluados.



Nota: El grafico representa la relación entre la eficiencia de remoción de cobre vs el método aplicado en el enjuague de cromo. Elaborado por: Los autores

4.1.5.1.2 Enjuague de níquel.

Tabla 55

Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de cobre en el enjuague de níquel

Análisis de varianza: Single Factor					Alpha	0,05
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio	F	Probabilidad	Valor crítico para F
			de los cuadrados			
Entre grupos	2993,33295	3	997,77765	10,73575	0,003536	4,0661806
Dentro de los grupos	743,517799	8	92,939725			
Total	3736,85075	11				

Nota: Con el análisis de ANOVA se determina el nivel de significancia. Elaborado por: Los autores

En función de los datos obtenidos en la Tabla 55, mediante ANOVA, se obtienen valores de p-value menor a 0,05 y el valor de F mayor al valor crítico, por lo cual el experimento es significativo, es decir se rechaza la hipótesis nula, afirmando que las medias no son iguales, lo que significa que existen algunos métodos que no poseen un porcentaje de remoción alto dentro del enjuague evaluado.

Tabla 56

Prueba de Tukey enjuague de níquel – análisis de cobre

<i>group 1</i>	<i>group 2</i>	<i>mean</i>	<i>std err</i>	<i>q-stat</i>	<i>lower</i>	<i>upper</i>	<i>p-value</i>	<i>mean-crit</i>	<i>Cohen d</i>
	Cloruro								
PAC	férrico	3,42	5,57	0,61	-21,79	28,63	0,97	25,21	0,35
	Sulfato de								
PAC	aluminio	13,46	5,57	2,42	-11,74	38,67	0,38	25,21	1,40
	Hidróxido								
PAC	de calcio	29,01	5,57	5,21	3,80	54,22	0,03	25,21	3,01
Cloruro	Sulfato de								
férrico	aluminio	10,05	5,57	1,81	-15,16	35,25	0,60	25,21	1,04
Cloruro	Hidróxido								
férrico	de calcio	32,43	5,57	5,83	7,22	57,64	0,01	25,21	3,36
Sulfato de	Hidróxido								
aluminio	de calcio	42,47	5,57	7,63	17,27	67,68	0,00	25,21	4,41

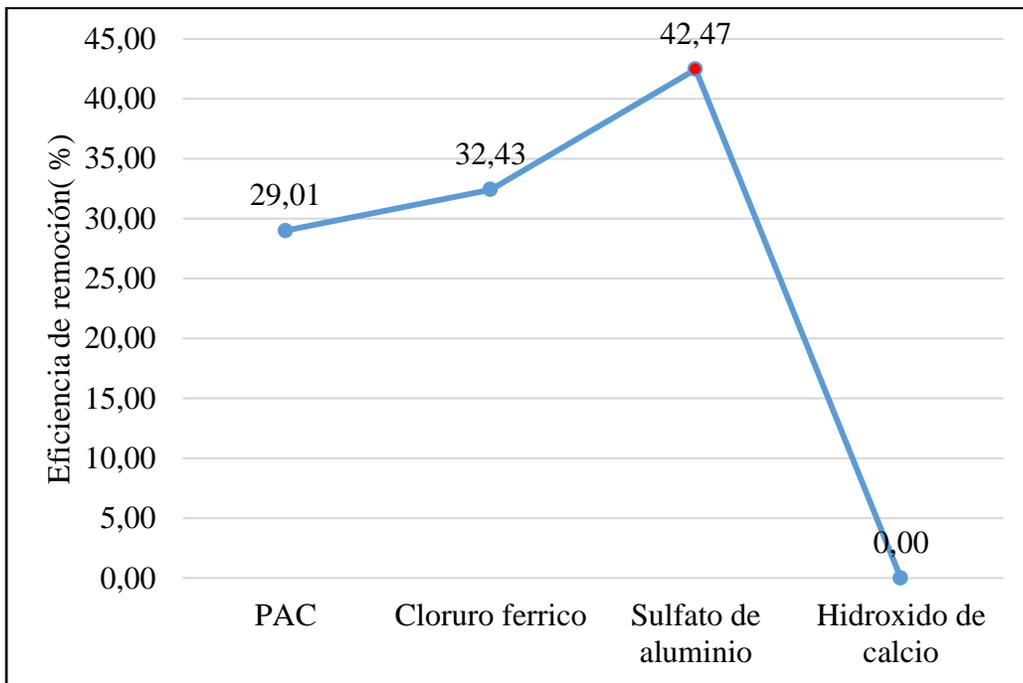
Nota: Análisis de varianza mediante prueba de Tukey enjuague de níquel – análisis de cobre.

Elaborado por: Los autores

En los grupos de PAC vs Sulfato de aluminio, Cloruro férrico vs Hidróxido de calcio y Sulfato de aluminio vs Hidróxido de calcio, el p-value es menor a 0,05 del nivel de significancia por lo que la hipótesis nula rechaza, resultando que en pequeñas cantidades existen alteraciones en los porcentajes de remoción de cobre.

Figura 22

Comparación de porcentajes de remoción de cobre en el enjuague de níquel por métodos evaluados.



Nota: El grafico representa la relación entre la eficiencia de remoción de cobre vs el método aplicado en el enjuague de níquel. Elaborado por: Los autores

4.1.5.1.3 Enjuague neutralizante.

Tabla 57

Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de cobre en el enjuague neutralizante

Análisis de varianza: Single Factor					Alpha	0,05
				<i>Promedio</i>		
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad p-value</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	5941,53841	2	2970,7692	34,087003	0,0005293	5,1432528
Dentro de los grupos	522,91529	6	87,152548			
Total	6464,4537	8				

Nota: Con el análisis de ANOVA se determina el nivel de significancia. Elaborado por: Los autores

En función de los datos obtenidos en la Tabla 57, mediante ANOVA, se obtienen valores de p-value menor a 0,05 y el valor de F mayor al valor crítico, por lo cual el experimento es significativo, es decir se rechaza la hipótesis nula, afirmando que las medias no son iguales, lo que significa que existen algunos métodos que no poseen un porcentaje de remoción alto dentro del enjuague evaluado.

Tabla 58*Prueba de Tukey enjuague neutralizante- análisis de cobre*

<i>group 1</i>	<i>group 2</i>	<i>mean</i>	<i>std err</i>	<i>q-stat</i>	<i>lower</i>	<i>upper</i>	<i>p-value</i>	<i>mean-crit</i>	<i>Cohen d</i>
	Cloruro								
PAC	férrico	62,481	5,390	11,592	39,094	85,868	0,000	23,387	6,693
	Sulfato de								
PAC	aluminio	37,789	5,390	7,011	14,402	61,175	0,006	23,387	4,048
Cloruro	Sulfato de								
férrico	aluminio	24,692	5,390	4,581	1,306	48,079	0,041	23,387	2,645

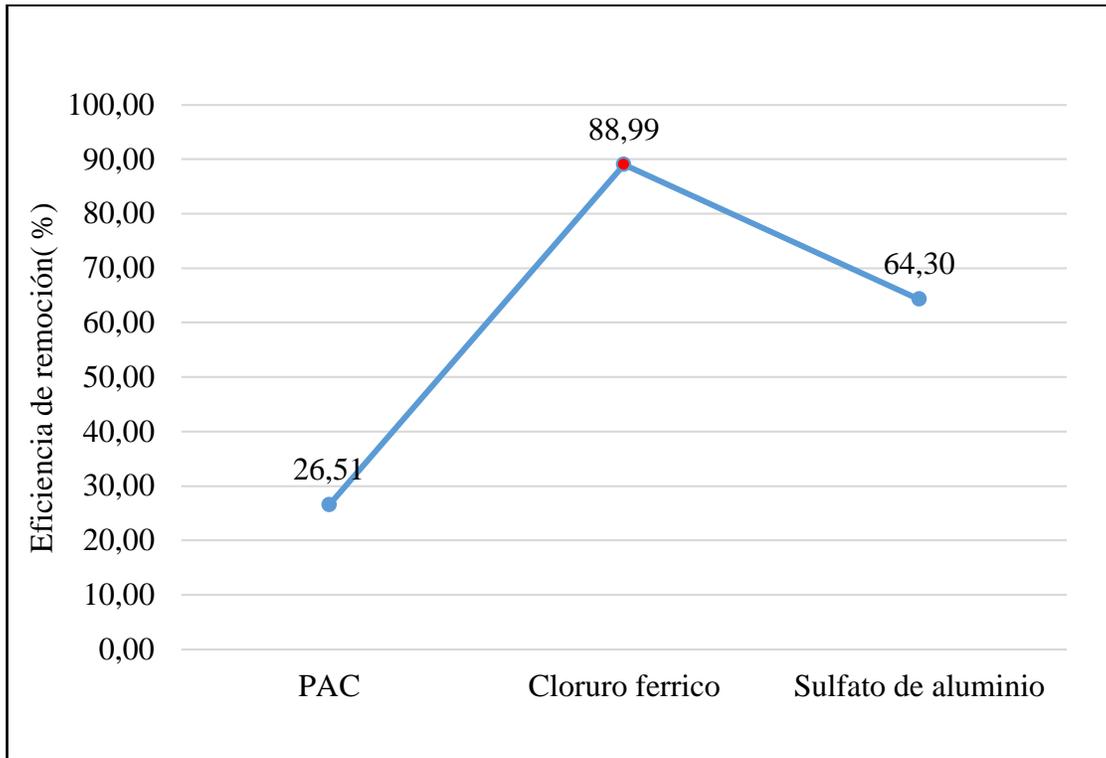
Nota: Análisis de varianza mediante prueba de Tukey enjuague neutralizante-análisis cobre.

Elaborado por: Los autores

En la Tabla 58 se aprecia, que en la relación de los tres casos el p-value es menor a 0,05 del nivel de significancia por lo que la hipótesis nula rechaza, resultando que en pequeñas cantidades existe alteraciones en el porcentaje de remoción y solo el método de cloruro férrico vs sulfato de aluminio es el que posee porcentajes de remoción mayores al 70%.

Figura 23

Comparación de porcentajes de remoción de cobre en el enjuague neutralizante por métodos evaluados.



Nota: El grafico representa la relación entre la eficiencia de remoción de cobre vs el método aplicado en el enjuague neutralizante. Elaborado por: Los autores

4.1.6 Determinación de porcentaje de remoción de cromo VI

Tabla 59

Resultados de porcentaje de remoción de cromo VI en los enjuagues de cromo, níquel y neutralizante

Porcentaje de remoción de cromo VI				
	PAC	Cloruro férrico	Sulfato de aluminio	Metabisulfito de sodio
Enjuague de cromo	18,89	9,22	32,89	84,44
	22,22	17,17	39,19	81,82
	18,75	14,90	37,81	80,21
Promedio	19,95	13,76	36,63	82,16
SD	1,97	4,09	3,31	2,14
	PAC	Cloruro férrico	Sulfato de aluminio	Hidróxido de calcio
Enjuague de níquel	0,00	31,21	16,31	0,00
	0,00	32,64	20,14	0,00
	0,00	32,64	20,14	0,00
Promedio	0,00	32,16	18,86	0,00
SD	0,00	0,83	2,21	0,00
	PAC	Cloruro férrico	Sulfato de aluminio	
Enjuague neutralizante	0,00	0,00	0,00	
	0,00	0,00	0,00	
	0,00	0,00	0,00	
Promedio	0,00	0,00	0,00	
SD	0,00	0,00	0,00	

Nota: Tabla comparativa de métodos aplicado y su porcentaje de remoción de cromo VI por

enjuague evaluado. Elaborado por: Los autores

4.1.6.1 Análisis ANOVA para la remoción de cromo VI en el enjuague de cromo, níquel y neutralizante.

4.1.6.1.1 Enjuague de cromo.

Tabla 60

Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de cromo VI en el enjuague de cromo

Análisis de varianza: single factor					Alpha	0,05
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad p-value</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	8594,2142	3	2864,73806	316,753971	1,191E-08	4,0661806
Dentro de los grupos	72,352383	8	9,04404784			
Total	8666,5666	11				

Nota: Con el análisis de ANOVA se determina el nivel de significancia. Elaborado por: Los autores

En función de los datos obtenidos en la Tabla 60, mediante ANOVA, se obtienen valores de p-value menor a 0,05 y el valor de F mayor al valor crítico, por lo cual el experimento es significativo, es decir se rechaza la hipótesis nula, afirmando que las medias no son iguales, lo

que significa que existen algunos métodos que no poseen un porcentaje de remoción alto dentro del enjuague evaluado.

Tabla 61

Prueba de Tukey enjuague de cromo – análisis de cromo VI

<i>group 1</i>	<i>group 2</i>	<i>mean</i>	<i>std err</i>	<i>q-stat</i>	<i>lower</i>	<i>upper</i>	<i>p-value</i>	<i>mean-crit</i>	<i>Cohen d</i>
	Cloruro								
PAC	férrico	6,19	1,74	3,57	-1,67	14,05	0,13	7,86	2,06
	Sulfato de								
PAC	aluminio	16,68	1,74	9,61	8,81	24,54	0,00	7,86	5,55
	Metabisulfito								
PAC	de sodio	62,20	1,74	35,83	54,34	70,07	0,00	7,86	20,68
Cloruro	Sulfato de								
férrico	aluminio	22,87	1,74	13,17	15,00	30,73	0,00	7,86	7,60
Cloruro	Metabisulfito								
férrico	de sodio	68,39	1,74	39,39	60,53	76,26	0,00	7,86	22,74
Sulfato de	Metabisulfito								
aluminio	de sodio	45,53	1,74	26,22	37,66	53,39	0,00	7,86	15,14

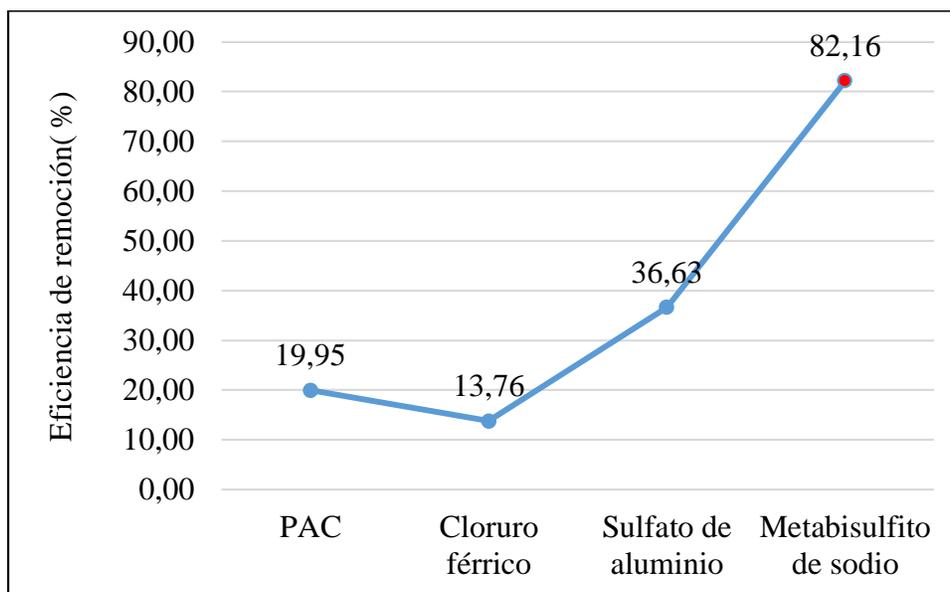
Nota: Análisis de varianza mediante prueba de Tukey enjuague de cromo-análisis de cromo VI.

Elaborado por: Los autores

- En la Tabla 60 se aprecia, que en los grupos de, PAC vs Sulfato de aluminio, PAC vs Metabisulfito de sodio, Cloruro férrico vs Sulfato de aluminio, Cloruro férrico vs Metabisulfito de sodio y Sulfato de aluminio vs Metabisulfito de sodio, el p-value es menor a 0,05 del nivel de significancia por lo que la hipótesis nula rechaza, resultando que en pequeñas cantidades existen alteraciones en los porcentajes de remoción de cobre
- En cambio, en el grupo de PAC vs Cloruro férrico, el p-value es mayores al 0,05, por lo que la hipótesis no es significativa y por lo tanto sus medias son iguales, lo que significa que son los métodos con porcentajes de remoción más pequeños.

Figura 24

Comparación de porcentajes de remoción de cromo VI en el enjuague de cromo por métodos evaluados.



Nota: El grafico representa la relación entre la eficiencia de remoción de cromo VI vs el método aplicado en el enjuague de cromo. Elaborado por: Los autores

4.1.6.1.2 Enjuague de níquel.

Tabla 62

Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de cromo VI en el enjuague de níquel

Análisis de varianza: Single Factor					Alpha	0,05
<i>Origen de las variaciones</i>					<i>Probabilidad p-value</i>	<i>Valor crítico para F</i>
<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>			
Entre grupos	2217,86936	3	739,289785	531,26596	1,528E-09	4,0661806
Dentro de los grupos	11,1324999	8	1,39156249			
Total	2229,00186	11				

Nota: Con el análisis de ANOVA se determina el nivel de significancia. Elaborado por: Los autores

En función de los datos obtenidos en la Tabla 62, mediante ANOVA, se obtienen valores de p-value menor a 0,05 y el valor de F mayor al valor crítico, por lo cual el experimento es significativo, es decir se rechaza la hipótesis nula, afirmando que las medias no son iguales, lo que significa que existen algunos métodos que no poseen un porcentaje de remoción alto dentro del enjuague evaluado.

Tabla 63*Prueba de Tukey enjuague de níquel – análisis de cromo VI*

<i>group 1</i>	<i>group 2</i>	<i>mean</i>	<i>std err</i>	<i>q-stat</i>	<i>lower</i>	<i>upper</i>	<i>p-value</i>	<i>mean-crit</i>	<i>Cohen d</i>
	Cloruro								
PAC	ferrico	32,1612	0,68	47,22	29,08	35,25	3,281E-09	3,085	27,263
	Sulfato de								
PAC	aluminio	18,8633	0,68	27,70	15,78	21,95	2,334E-07	3,085	15,991
	Hidroxido								
PAC	de calcio	0,0000	0,68	0,00	-3,08	3,08	0,999978	3,085	0,000
Cloruro	Sulfato de								
ferrico	aluminio	13,2979	0,68	19,53	10,21	16,38	3,444E-06	3,085	11,273
Cloruro	Hidroxido								
ferrico	de calcio	32,1612	0,68	47,22	29,08	35,25	3,281E-09	3,085	27,263
Sulfato de	Hidroxido								
aluminio	de calcio	18,8633	0,68	27,70	15,78	21,95	2,334E-07	3,085	15,991

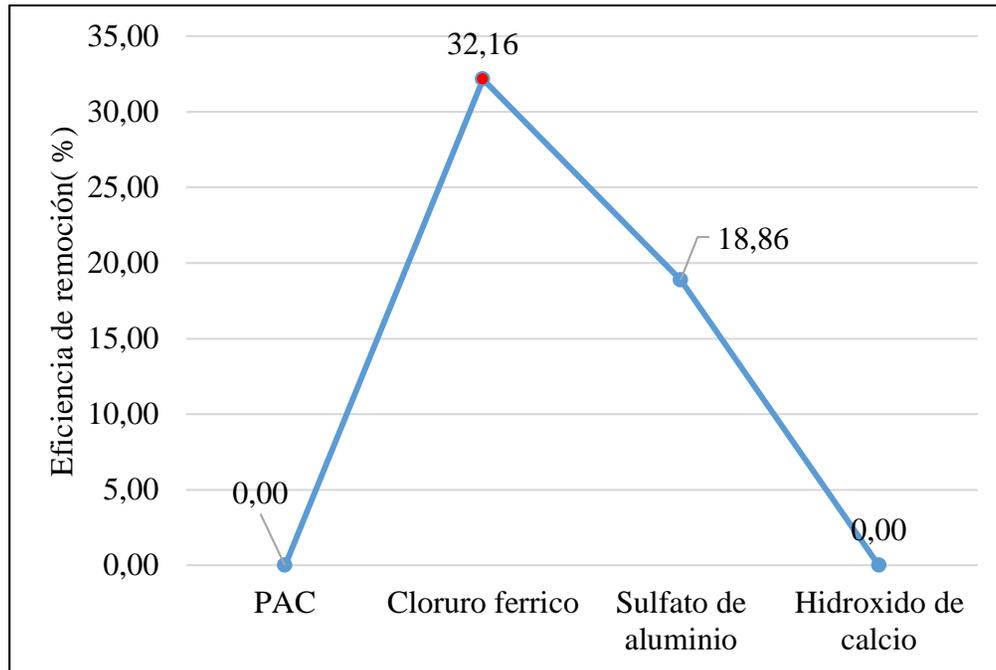
Nota: Análisis de varianza mediante prueba de Tukey análisis de cromo VI-enjuague de níquel.

Elaborado por: Los autores

En la Tabla 63, en el grupo de PAC vs Hidróxido de calcio, el p-value es mayores al 0,05, por lo que la hipótesis no es significativa y por lo tanto sus medias son iguales, lo que significa que son los métodos con porcentajes de remoción nulo.

Figura 25

Comparación de porcentajes de remoción de cromo VI en el enjuague níquel por métodos evaluados.



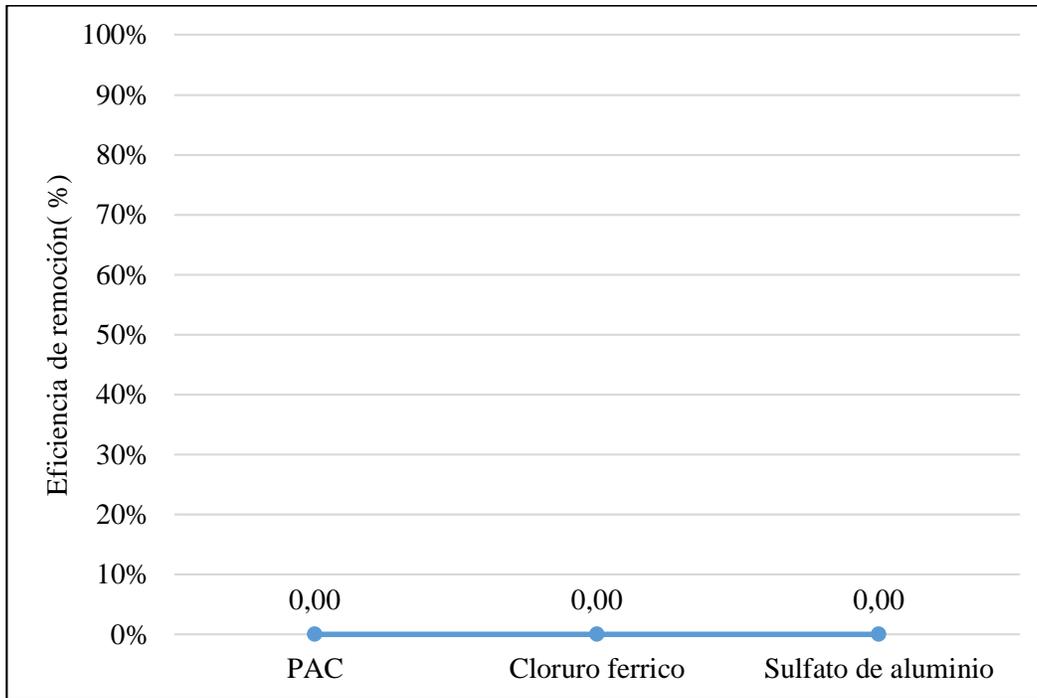
Nota: El grafico representa la relación entre la eficiencia de remoción de cromo VI vs el método aplicado en el enjuague de níquel. Elaborado por: Los autores

4.1.6.1.3 Enjuague neutralizante.

Debido a la remoción nula de cromo VI con los métodos aplicados en el enjuague neutralizante, únicamente se realizó la representación gráfica ya que al momento de realizar ANOVA/TUKEY, da valores indefinidos o erróneos.

Figura 26

Comparación de porcentajes de remoción de cromo VI en el enjuague neutralizante por métodos evaluados.



Nota: El gráfico representa la relación entre la eficiencia de remoción de cromo VI vs el método aplicado en el enjuague neutralizante. Elaborado por: Los autores

4.1.7 Determinación de porcentaje de remoción de níquel.

Tabla 64

Resultados de porcentaje de remoción de níquel en los enjuagues de cromo, níquel y neutralizante

Porcentaje de remoción de níquel				
	PAC	Cloruro férrico	Sulfato de aluminio	Metabisulfito de sodio
Enjuague de cromo	100,00	100,00	100,00	99,90
	100,00	100,00	100,00	99,90
	100,00	100,00	100,00	99,90
Promedio	100,000	100,00	100,00	99,90
SD	0,000	0,00	0,00	1,74E-14
	PAC	Cloruro férrico	Sulfato de aluminio	Hidróxido de calcio
Enjuague de níquel	0,00	0,00	0,00	100,00
	0,00	0,00	0,00	100,00
	0,00	0,00	0,00	100,00
Promedio	0,00	0,00	0,00	100,00
SD	0,00	0,00	0,00	0,00
	PAC	Cloruro férrico	Sulfato de aluminio	
Enjuague neutralizante	0,00	0,00	0,00	
	0,00	0,00	0,00	
	0,00	0,00	0,00	
Promedio	0,00	0,00	0,00	
SD	0,00	0,00	0,00	

Nota: Tabla comparativa de métodos aplicado y su porcentaje de remoción de níquel por enjuague evaluado. Elaborado por: Los autores

4.1.7.1 Análisis ANOVA para la remoción de níquel en el enjuague de cromo, níquel y neutralizante.

4.1.7.1.1 Enjuague de cromo

Tabla 65

Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de níquel en el enjuague de cromo

Análisis de varianza : Single Factor					Alpha	0,05
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad p-value</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,0225	3	0,0075	9,90352E+25	1,2937E-102	4,0661806
Dentro de los grupos	6,058E-28	8	7,573E-29			
Total	0,0225	11				

Nota: Con el análisis de ANOVA se determina el nivel de significancia enjuague de cromo.

Elaborado por: Los autores

En función de los datos obtenidos en la Tabla 65, mediante ANOVA, se obtienen valores de p-value menor a 0,05 y el valor de F mayor al valor crítico, por lo cual el experimento es

significativo, es decir se rechaza la hipótesis nula, afirmando que las medias no son iguales, lo que significa que existen algunos métodos que no poseen un porcentaje de remoción alto dentro del enjuague evaluado.

Tabla 66

Prueba de Tukey enjuague de níquel – análisis de níquel

<i>group 1</i>	<i>group 2</i>	<i>mean</i>	<i>std err</i>	<i>q-stat</i>	<i>lower</i>	<i>upper</i>	<i>p-value</i>	<i>mean-crit</i>	<i>Cohen d</i>
	Cloruro				-2,28E-	2,28E-		2,276E-	
PAC	férrico	0	5,024E-15	0	14	14	0,9999	14	0
	Sulfato de				-2,28E-	2,28E-		2,276E-	
PAC	aluminio	0	5,024E-15	0	14	14	0,9999	14	0
	Metabisulfito						1,96E-	2,276E-	
PAC	de sodio	0,1	5,024E-15	1,990E+13	0,1	0,1	12	14	1,14912E+13
Cloruro	Sulfato de				-2,28E-	2,28E-		2,276E-	
férrico	aluminio	0	5,024E-15	0	14	14	0,9999	14	0
Cloruro	Metabisulfito						1,96E-	2,276E-	
férrico	de sodio	0,1	5,024E-15	1,990E+13	0,1	0,1	12	14	1,14912E+13
Sulfato de	Metabisulfito						1,96E-	2,276E-	
aluminio	de sodio	0,1	5,024E-15	1,990E+13	0,1	0,1	12	14	1,14912E+13

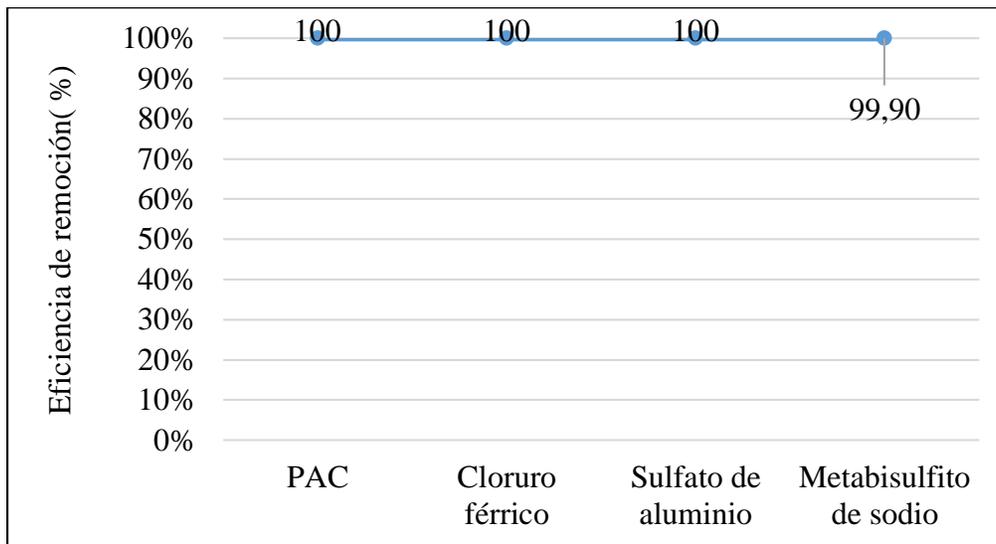
Nota: Análisis de varianza mediante prueba de Tukey análisis de níquel-enjuague de cromo.

Elaborado por: Los autores

En la Tabla 66, se aprecia, que en la relación de PAC vs Metabisulfito de sodio, Cloruro férrico vs Metabisulfito de sodio y Sulfato de aluminio vs Metabisulfito de sodio, el p-value es menor a 0,05 del nivel de significancia por lo que la hipótesis nula rechaza, resultando que en pequeñas cantidades existe alteraciones en el porcentaje de remoción y solo el método de metabisulfito de sodio es el que posee porcentajes de remoción menores a los otros 3 métodos pero por un porcentaje muy pequeño.

Figura 27

Comparación de porcentajes de remoción de níquel en el enjuague de cromo por métodos evaluados.



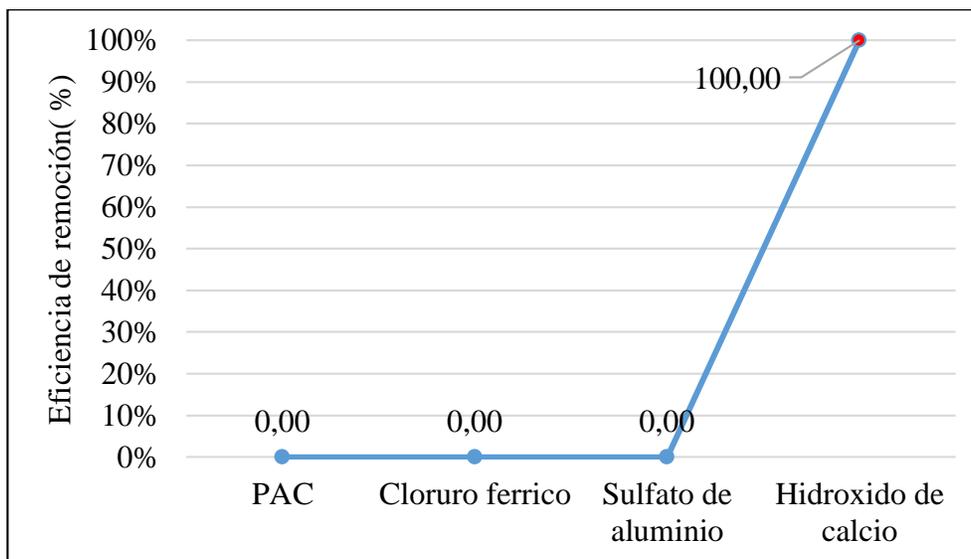
Nota: El gráfico representa la relación entre la eficiencia de remoción de níquel vs el método aplicado en el enjuague de cromo. Elaborado por: Los autores

4.1.7.1.2 Enjuague de níquel /neutralizante.

Debido a la remoción nula de níquel con los métodos aplicados en el enjuague de níquel y neutralizante, únicamente se realizó la representación gráfica ya que al momento de realizar ANOVA/TUKEY, da valores indefinidos o erróneos.

Figura 28

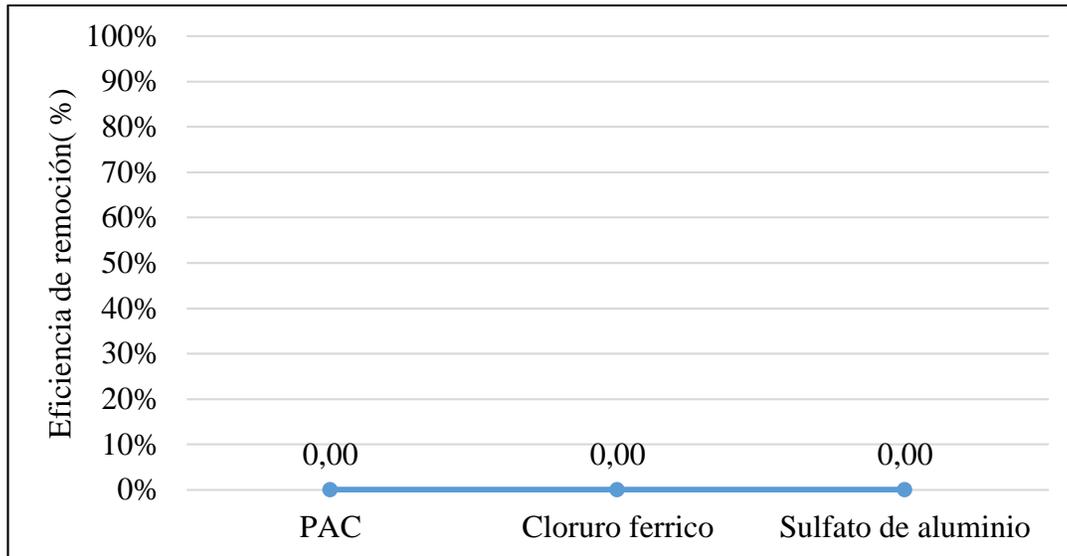
Comparación de porcentajes de remoción de níquel en el enjuague de níquel por métodos evaluados.



Nota: El gráfico representa la relación entre la eficiencia de remoción de níquel vs el método aplicado en el enjuague de níquel. Elaborado por: Los autores

Figura 29

Comparación de porcentajes de remoción de níquel en el enjuague neutralizante por métodos evaluados.



Nota: El gráfico representa la relación entre la eficiencia de remoción de níquel vs el método aplicado en el enjuague neutralizante. Elaborado por: Los autores

4.1.8 Determinación de porcentaje de remoción de plomo

Tabla 67

Resultados de porcentaje de remoción de plomo en los enjuagues de cromo, níquel y neutralizante

Porcentaje de remoción de plomo				
	PAC	Cloruro férrico	Sulfato de aluminio	Metabisulfito de sodio
Enjuague de cromo	44,98	73,80	76,95	72,03
	45,01	73,84	77,81	72,15
	44,98	73,79	76,83	72,14
Promedio	44,99	73,81	77,20	72,11
SD	0,02	0,0265969	0,5321753	0,06428022
	PAC	Cloruro férrico	Sulfato de aluminio	Hidróxido de calcio
Enjuague de níquel	0,00	0,00	0,00	38,92
	0,00	0,00	0,00	38,88
	0,00	0,00	0,00	38,89
Promedio	0,00	0,00	0,00	38,90
SD	0,00	0,00	0,00	0,02
	PAC	Cloruro férrico	Sulfato de aluminio	
Enjuague de neutralizante	90,70	87,31	96,02	
	90,29	87,20	95,84	
	91,00	89,63	96,16	
Promedio	90,66	88,05	96,00	
SD	0,53	1,37	0,16	

Nota: Tabla comparativa de métodos aplicado y su porcentaje de remoción de plomo por enjuague evaluado. Elaborado por: Los autores

4.1.8.1 Análisis ANOVA para la remoción de plomo en el enjuague de cromo, níquel y neutralizante.

4.1.8.1.1 Enjuague de cromo.

Tabla 68

Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de plomo en el enjuague de cromo

Análisis de varianza: single factor				Alpha	0,05	
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad para F</i>	
Entre grupos	1982,5762	3	660,858744	9163,90545	1,762E-14	4,0661806
Dentro de los grupos	0,5769232	8	0,0721154			
Total	1983,1532	11				

Nota: Con el análisis de ANOVA se determina el nivel de significancia enjuague de cromo.

Elaborado por: Los autores

En función de los datos obtenidos en la Tabla 68, mediante ANOVA, se obtienen valores de p-value menor a 0,05 y el valor de F mayor al valor crítico, por lo cual el experimento es significativo, es decir se rechaza la hipótesis nula, afirmando que las medias no son iguales, lo que significa que existen algunos métodos que no poseen un porcentaje de remoción alto dentro del enjuague evaluado.

Tabla 69*Prueba de Tukey- enjuague de cromo – análisis de plomo*

<i>group 1</i>	<i>group 2</i>	<i>mean</i>	<i>std err</i>	<i>q-stat</i>	<i>lower</i>	<i>upper</i>	<i>p-value</i>	<i>mean-crit</i>	<i>Cohen d</i>
	Cloruro								
PAC	férrico	28,82	0,16	185,87	28,12	29,52	0,00	0,70	107,31
	Sulfato de								
PAC	aluminio	32,21	0,16	207,73	31,51	32,91	0,00	0,70	119,93
	Metabisulfito								
PAC	de sodio	27,12	0,16	174,90	26,41	27,82	0,00	0,70	100,98
Cloruro	Sulfato de								
férrico	aluminio	3,39	0,16	21,86	2,69	4,09	0,00	0,70	12,62
Cloruro	Metabisulfito								
férrico	de sodio	1,70	0,16	10,97	1,00	2,40	0,00	0,70	6,33
Sulfato de	Metabisulfito								
aluminio	de sodio	5,09	0,16	32,83	4,39	5,79	0,00	0,70	18,96

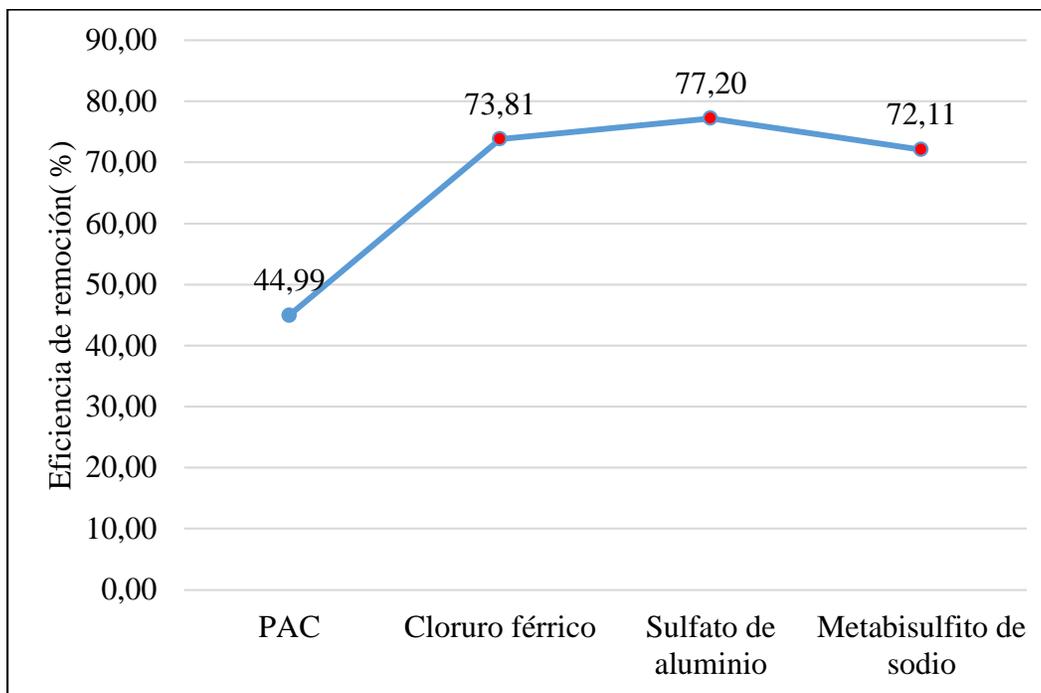
Nota: Análisis de varianza mediante prueba de Tukey análisis de plomo-enjuague de cromo.

Elaborado por: Los autores

En la Tabla 69, se aprecia, que en la relación de los seis casos el p-value es menor a 0,05 del nivel de significancia por lo que la hipótesis nula rechaza, resultando que en pequeñas cantidades existe alteraciones en el porcentaje de remoción y solo el método de PAC es el que posee porcentajes de remoción mayores al 70%.

Figura 30

Comparación de porcentajes de remoción de plomo en el enjuague de cromo por métodos evaluados.



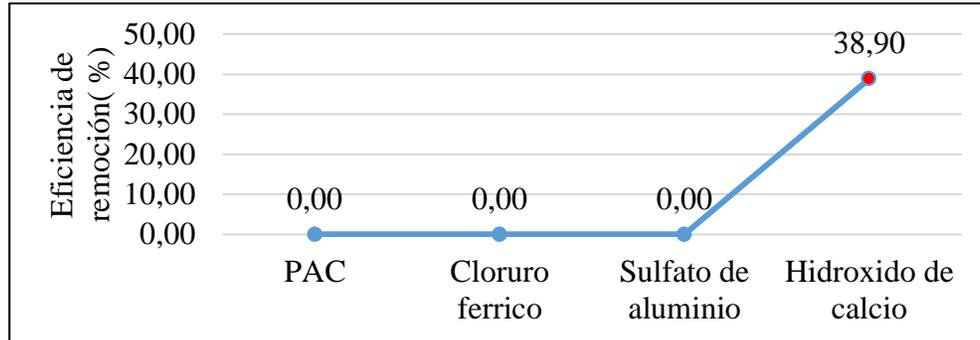
Nota: El grafico representa la relación entre la eficiencia de remoción de plomo vs el método aplicado en el enjuague de cromo. Elaborado por: Los autores

4.1.8.1.2 Enjuague de níquel

Debido a la remoción nula de níquel con los métodos aplicados en el enjuague de níquel únicamente se realizó la representación gráfica ya que al momento de realizar ANOVA/TUKEY, da valores indefinidos o erróneos.

Figura 31

Comparación de porcentajes de remoción de plomo en el enjuague níquel por métodos evaluados.



Nota: El grafico representa la relación entre la eficiencia de remoción de plomo vs el método aplicado en el enjuague de níquel. Elaborado por: Los autores

4.1.8.1.3 Enjuague neutralizante

Tabla 70

Análisis de ANOVA del porcentaje de remoción de plomo en el enjuague neutralizante

ANÁLISIS DE VARIANZA: Single Factor					Alpha	0,05
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	98,692305	2	49,3461525	72,6395887	6,239E-05	5,1432528
Dentro de los grupos	4,0759718	6	0,67932863			
Total	102,76828	8				

Nota: Con el análisis de ANOVA se determina el nivel de significancia enjuague neutralizante.

Elaborado por: Los autores

En función de los datos obtenidos en la Tabla 70, mediante ANOVA, se obtienen valores de p-value menor a 0,05 y el valor de F mayor al valor crítico, por lo cual el experimento es significativo, es decir se rechaza la hipótesis nula, afirmando que las medias no son iguales, lo que significa que existen algunos métodos que no poseen un porcentaje de remoción alto dentro del enjuague evaluado.

Tabla 71

Prueba de Tukey enjuague de níquel- análisis de plomo

group 1	group 2	mean	std err	q-stat	lower	upper	p-value	mean-crit	Cohen d
	Cloruro								
PAC	férrico	2,62	0,48	5,50	0,55	4,68	0,02	2,06	3,18
	Sulfato de								
PAC	aluminio	5,34	0,48	11,22	3,27	7,40	0,00	2,06	6,48
Cloruro	Sulfato de								
férrico	aluminio	7,96	0,48	16,72	5,89	10,02	0,00	2,06	9,65

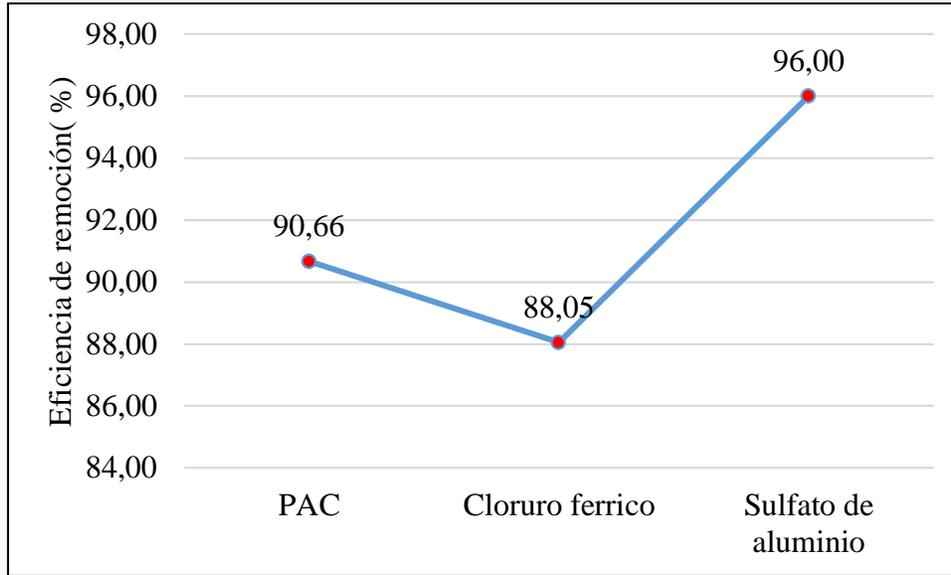
Nota: Análisis de varianza mediante prueba de Tukey enjuague neutralizante-análisis de plomo.

Elaborado por: Los autores

En la Tabla 71, se aprecia que en la relación de los tres casos el p-value es menor a 0,05 del nivel de significancia por lo que la hipótesis nula rechaza, resultando que en pequeñas cantidades existe alteraciones en el porcentaje de remoción y solo el método de sulfato de aluminio es el que posee el porcentaje de remoción mayor en comparación con los otros dos métodos evaluados.

Figura 32

Comparación de porcentajes de remoción de plomo en el enjuague neutralizante por métodos evaluados.



Nota: El grafico representa la relación entre la eficiencia de remoción de plomo vs el método aplicado en el enjuague neutralizante. Elaborado por: Los autores

4.2 Discusión

El proyecto de titulación se realizó en una industria de recubrimiento electroquímico, mismo que tiene como objetivo evaluar de la remoción de Al, Cd, Co, Cu, Cr, Ni y Pb de las aguas residuales procedentes de esta industria mediante procesos de precipitación química, con el fin de que los parámetros de calidad de agua evaluados lleguen a los límites de descarga para el sistema de alcantarillado público estipulado en el acuerdo ministerial 097-A.

Según estudios realizados por (Caviedes et al., 2015), el tratamiento con coagulante, floculante y polielectrolítico por procesos de precipitación química tienen una gran efectividad para remoción de metales en aguas procedentes de procesos industriales. En la presente investigación para enjuague de cromo se tuvo que el método con mayor eficacia fue el de metabisulfito de sodio (grado alimenticio), para el enjuague de níquel el método con mayor eficacia fue el de hidróxido de sodio y para el enjuague de neutralizante el de mayor eficacia fue el sulfato de aluminio. Es importante recalcar que los enjuagues de níquel y cromo presentaban una alta concentración en los níquel y cromo respectivamente, por tal razón para estos enjuagues se emplearon métodos específicos.

Según estudios realizados por (Ramakrishnaiah y Prathima, 2020), los flujos de desechos procedentes de minería, revestimiento de metales, generación de energía y de curtiembre contiene metales pesados tóxicos como cromo, cadmio, plomo, mercurio, níquel y cobre, los mismos que no se eliminan fácilmente sin un tratamiento especializado o avanzado. En dicho estudio afirma que el uso de metabisulfito de sodio como agente reductor es efectivo en un pH de 2 y una dosificación de 80 mg/L con una velocidad de mezclado de 50 rpm durante 5 minutos. En la presente investigación se trabajó bajo las mismas condiciones para el enjuague de cromo, pero se obtuvo como concentración óptima 150 mg/L, teniendo un porcentaje de remoción de cromo de 100% Al, 54,35% Cd, 96,39% Cu, 82, 11 %Cr VI, 99,99 % Ni y 72,11% Pb.

Investigaciones realizadas (Pabón et al., 2020), la precipitación con hidróxidos es el método preferido en los procesos de remoción de metales pesados debido a su fácil manejo y bajo costo. (Qu et al., 2012) afirma que la precipitación de metales pesados con hidróxido de

calcio en las aguas residuales se da a un pH de 10,5 obteniendo una alta eficiencia de remoción, bajo costo de operación, producción de lodos más concentrados y poca influencia en los organismos acuáticos. En el presente estudio de trabajo con un pH de 9,14-9,73 para el enjuague de níquel, obteniendo como pH óptimo el 9,73 a una concentración de 1500 mg/L por 30 min a 100 rpm, obteniendo porcentajes de remociones de 54,97% Co, 100% Ni y 38,39% Pb.

(Suarez y Trujillo, 2011), afirman que las sales de sulfato de aluminio al igual que las de hierro son los coagulantes más comunes utilizados para la desestabilización de partículas y producción de floc. De igual manera (Orellana, 2005), menciona que el sulfato de aluminio como agente coagulante es un excelente para la remoción de plata, plomo y cobre, pero para los metales de níquel, cobalto, magnesio y cromo no es un buen agente reductor. En base a las investigaciones antes mencionadas se puede afirmar que no se evidencio una remoción de los metales de cobalto, cadmio, cromo VI y níquel, ya que únicamente existió una remoción de aluminio 100 %, cobre 60,10%, cromo VI 70,21% y plomo 96,01% a una concentración de 0,0124 g/L durante 5 minutos a una velocidad de agitación de 10 rpm.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. Se concluye que la remoción de los metales de Al, Cd, Cu, Co, Cr, Ni y Pb fue satisfactoria mediante la aplicación de procesos de precipitación química para las aguas residuales evaluadas.
2. Una vez evaluado los diferentes métodos por coagulante, floculante y polielectrolítico de las aguas residuales procedentes de la industria de recubrimiento electrolítico; se determinó que de un total de 7 métodos (PAC, cloruro férrico, sulfato de aluminio, sulfito de sodio + PAM-C, Hidróxido de Sodio+ PAM-A, hidróxido de calcio y metabisulfito de sodio) aplicados para el enjuague de cromo, el de mayor eficacia en el cumplimiento de los parámetros de calidad de agua evaluados fue el de metabisulfito de sodio (grado alimenticio); de un total de 5 métodos (PAC, cloruro férrico, sulfato de aluminio, hidróxido de sodio + PAM-C e hidróxido de calcio) aplicados para el enjuague de níquel, el de mayor eficacia en el cumplimiento de los parámetros de calidad de agua evaluados fue el de hidróxido de sodio; de un total de 3 métodos (PAC, cloruro férrico y sulfato de aluminio) aplicados para el enjuague de neutralizante el de mayor eficacia en el cumplimiento de los parámetros de calidad de agua evaluados fue el sulfato de aluminio.
3. Se concluye que de todos los parámetros de calidad de agua iniciales evaluados para los enjuagues de cromo, níquel y neutralizante por fotometría multiparámetro COD y espectrofotometría de absorción atómica, ninguno de estos tres enjuagues cumple con la

normativa evaluada, pero después de haber realizado la aplicación de los distintos métodos de precipitación química para cada enjuague se obtuvo los siguientes resultados:

- En los 3 enjuagues evaluados se observa que existen porcentajes de remoción de 0, en este caso el porcentaje es 0 debido a que la concentración de estos metales con el método evaluado aumentó, pero a pesar de esto su concentración está dentro de norma
 - En el enjuague de cromo mediante el método de metabisulfito de sodio tuvo una remoción significativa de aluminio de 100 %, remoción de cadmio 54,35 %, la remoción de cobre de 96,39 %, remoción de cromo VI 82,11%, remoción de níquel 99,99 % y remoción de plomo 71,11%.
 - En el enjuague de níquel mediante el método de hidróxido de calcio se tuvo un porcentaje significativo en los siguientes metales: remoción de cobalto de 54,97 %, remoción de níquel 100 % y remoción de plomo 38,89%.
 - En el enjuague de neutralizante mediante el método de sulfato de aluminio se un porcentaje significativo para los siguientes metales: remoción de aluminio de 100 %, remoción de cobre de 64,10 %, y remoción de plomo 96,01%.
4. Se determinó que la dosis óptima y el costo de los métodos evaluados efectivos mediante precipitación química para el cumplimiento de los parámetros de calidad de agua evaluados de acuerdo con el AM097-A, para los enjuagues de cromo, níquel, neutralizante fueron los siguientes:
- Para el enjuague de cromo:

- Dosis optima de metabisulfito de sodio: 0,15 g/L.
- Costo (\$/L): \$ 2,24

$$0,15 \frac{g}{L} * 5000L * \frac{2,98\$}{kilo} * \frac{1kilo}{1000 g} = \mathbf{2,24}$$

- Para el enjuague de níquel:

- Dosis optima de hidróxido de calcio: 1,5 g/L.
- Costo (\$/L): \$ 2,40

$$1,5 \frac{g}{L} * 5000L * \frac{8 \$}{25 kg} * \frac{1kilo}{1000g} = 2,40$$

- Para el enjuague neutralizante:

- Dosis optima sulfato de aluminio: 0,0124 g/L
- Costo (\$/L):

$$0,0124 \frac{g}{L} * 5000L * \frac{1,13\$}{kilo} * \frac{1kilo}{1000 g} = \mathbf{\$0,07}$$

5.2 Recomendaciones

- Es recomendable que para el uso de espectrofotometría de absorción atómica para los métodos de horno de grafito, llama y generador de hidruros el coeficiente de correlación de la curva de calibración sea $\geq 0,995$ para un resultado más exacto.
- Se recomienda poner en práctica el método de bisulfito de sodio (grado alimenticio) para aguas industriales que contengan cromo VI debido a que es un método muy viable y de costo muy bajo
- Es recomendable analizar las propiedades químicas y físicas de los coagulantes, floculantes y polielectrolitos, así como sus efectos en el ambiente y en la salud, una vez analizadas ya que algunos de estos generan grandes cantidades de lodos.
- Es necesario desarrollar métodos simples mediante precipitación química, de bajo costo, efectividad y seguridad para el tratamiento de aguas residuales industriales.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2004). *RESUMEN DE SALUD PÚBLICA Cobalto CAS#: 7440-48-4 División. 1-9.*
https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs33.html%0Awww.atsdr.cdc.gov/esT%0Ahttps://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs7.pdf
- Aguilar, M. I. y Sáez, J. y Lloréns, M. y Soler, A. y Ortuño, J. F. y Meseguer, V. y Fuentes, A. (2005). Improvement of coagulation-flocculation process using anionic polyacrylamide as coagulant aid. *Chemosphere*, 58(1), 47–56.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.09.008>
- Ahmad, A. L. y Wong, S. S. y Teng, T. T. y Zuhairi, A. (2008). Improvement of alum and PACl coagulation by polyacrylamides (PAMs) for the treatment of pulp and paper mill wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 137(3), 510–517. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.03.088>
- Ain, N. y Azwan, T. y Imam, H. y Wahidah, S. y Rohana, S. (2019). Removal of Nickel, Zinc and Copper from Plating Process Industrial Raw Effluent Via Hydroxide Precipitation Versus Sulphide Precipitation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 551(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/551/1/012122>
- Alianza por el agua. (2008). Manual de depuración de aguas residuales urbanas. *Centa, Secretariado de Alianza por el agua, Ecología y Desarrollo.*, 1–264.
<http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>
- Aluminio y bauxita: impacto socioambiental y alternativas de consumo. (2018). Ecofestes. <https://www.ecofestes.com/aluminio-bauxita-impacto-socioambiental-alternativas-de-consumo-n-47-es#:~:text=Impacto ambiental del aluminio&text=La contaminación que genera la,y el óxido de nitrógeno.>
- Alvarado, A. y Blanco, R. y Mora, E. (2002). El cromo como elemento esencial en los humanos. *Revista Costarricense de Ciencias Médicas*, 23(1–2).
- Alvarez, F. y Proaño, D. (2006). *Implementación De Un Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales Para Una Empresa Metal – Mecánica.* 183.
[http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/10683/1/Tesis Bebida de Quinoa.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/10683/1/Tesis%20Bebida%20de%20Quinoa.pdf)
- Ambientum. (s/f). *Enciclopedia Medioambiental.*
- Awad, M. y Li, F. y Wang, H. (2013). Application of natural clays and poly aluminium chloride for waste water treatment. *IJRRAS*, 15(2), 287–291.
- Baran, E. J. (2018). Cobalto: un elemento crítico y estratégico. *Académico Titular de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales Resumen*, 70, 77–106.
https://www.ancefn.org.ar/user/FILES/ANALES/TOMO_70/13.pdf
- Beltrán, M. y Gómez, A. (2015). Metales pesados (Cd, Cr y Hg): su impacto en el ambiente y posibles estrategias biotecnológicas para su remediación. *Revista I3+*, 2(2), 82–112.
- Catalá, M. (2015). *Efectos ambientales de la contaminación por cobre.* ToxAmb.
<https://toxamb.wordpress.com/2015/11/24/efectos-de-la-contaminacion-por-cobre/>
- Caviedes, D. I. y Muñoz, R. A. y Perdomo, A. y Rodríguez, D. y Sandoval, I. J. (2015). Tratamientos para la Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes en Aguas Residuales Industriales. Una Revisión. *Ingeniería y Región*, 13(1), 73–90.
<https://doi.org/10.25054/22161325.710>
- Chapple, G. y Athanasopoulos, N. (1991). *System 2000 / 3000 Graphite Furnace Methods Manual GBC Scientific Equipment PTY LTD* (Número 01).
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador.

- Iusrectusecart*, 449, 1–219. <https://bde.fin.ec/wp-content/uploads/2021/02/Constitucionultimodif25enero2021.pdf>
- Díaz, E. y Alvarado, A. y Camacho, K. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera*, 14(1), 78–97. <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>
- Dotto, G. L. y Rosa, G. S. y Moraes, M. A. y Weska, R. F. y Pinto, L. A. A. (2013). Treatment of chitin effluents by coagulation-flocculation with chitin and aluminum sulfate. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(1–2), 50–55. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.03.006>
- Encinas, M. (2011). Medio Ambiente Y Contaminación. Principios Básicos. En *Addi.Ehu.Es*. [https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/Medio Ambiente y Contaminación. Principios básicos.pdf?sequence=6](https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/Medio_Ambiente_y_Contaminación_Principios_básicos.pdf?sequence=6)
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Revista Química Viva*, 11(3), 147–170. <https://doi.org/10.48213/travessia.vi81.866>
- Ferré, N. y Schuhmacher, M. y Llobet, J. y Domingo, J. (2007). Metales pesados y salud: Diseño de un software para evaluar los riesgos de la exposición ambiental a través del agua, suelos y aire. *Mapfre seguridad*, 27(108), 50–58. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2508799%0Ahttps://www.mapfre.com/ccm/content/documentos/fundacion/prev-ma/revista-seguridad/n108-programa-hra-metales-pesados.pdf>
- FERTINNOWA. (2018). Ficha Técnica Fuentes de agua. *FERTINNOWA*, 1–2. <https://agroambient.gva.es/documents/163228750/167915616/Fuentes+de+agua+%28comp+at+Ecológico%29.pdf/58e15310-e2e0-4dfe-ab44-75ed0634f14c>
- Frías, T. y Montilla, L. (2016). Evaluación De Los Parámetros Físicos, Químicos Y Microbiológicos En El Sector Puerto De Productores Río Itaya, Loreto – Perú 2014 -2015. *Tesis Para Optar Título Profesional de: LICENCIADO EN ECOLOGÍA*, 1–83. <http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/114/FRÍAS-MONTILLA-Evaluación-1-Trabajo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gane, P. A. C. y Schölkopf, J. y Gantenbein, D. y Gerard, D. E. (2012). *Cabonato de Calcio con Superficie Sometida a reacción y su uso en el Tratamiento de Aguas Residuales*. 1–20.
- Goetschel, L. (2018). Los metales pesados : un desafío para la inocuidad alimentaria en el Ecuador. *AGROCALIDAD*, 1. <https://www.udla.edu.ec/wp-content/uploads/2019/02/Los-Metales-Pesados-un-Desaf%23U00edo-para-la-Inocuidad-Alimentaria-en-el-Ecuador-Lorena-Goetschel.pdf>
- Jiménes, L. (2017). *Recubrimientos Metálicos De: Cobre, Cromo Y Níquel En Piezas Ferrosas Mediante El Proceso Electrolítico* [UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/14149/1/T-UCE-0010-ET001-2018.pdf>
- Juárez, C. (2015). Análisis de varianza de tipo I: Anova I. *Centro Universitario UAEM Ecatepec*, 1, 1–40. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/33860/secme-16960.pdf?sequence=1>
- Krieger, A. (2018). *IMPACTOS AMBIENTALES DE LA MINERÍA Y EL PROCESAMIENTO DE NÍQUEL*. Everling. <https://everlingjewelry.com/blogs/news/environmental-impacts-of-nickel-mining-and-processing#:~:text=There are many environmental issues,extract and refine the metal.>
- Kumar, V. y Dwivedi, S. K. (2021). A review on accessible techniques for removal of hexavalent

- Chromium and divalent Nickel from industrial wastewater: Recent research and future outlook. *Journal of Cleaner Production*, 295, 22. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126229>
- Kurup, G. G. y Adhikari, B. y Zisu, B. (2019). Treatment performance and recovery of organic components from high pH dairy wastewater using low-cost inorganic ferric chloride precipitant. *Journal of Water Process Engineering*, 32, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100908>
- Lizana, P. (2018). Tratamiento de Aguas Residuales para el Caserío Villa Palambra. *Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial y de Sistemas.*, 142. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3636/ING_605.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- López, D. (2018). Evaluación de los procedimientos de remoción de metales pesados en los residuos de la DQO. *INGENIERÍA UC*, 25(1). [redalyc.org/journal/707/70757668008/html/MAAE-Acuerdo Ministerial 097-A. \(2015\). Registro Oficial Suplemento 387 de 4 de Noviembre de 2015. Libro VI, Anexo 5, 184. \[http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112183.pdf%0Ahttp://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/norma_ecuato_calidad.pdf\]\(http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112183.pdf%0Ahttp://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/norma_ecuato_calidad.pdf\)](http://redalyc.org/journal/707/70757668008/html/MAAE-Acuerdo Ministerial 097-A. (2015). Registro Oficial Suplemento 387 de 4 de Noviembre de 2015. Libro VI, Anexo 5, 184. http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112183.pdf%0Ahttp://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/norma_ecuato_calidad.pdf)
- Mara. (1976). “Tratamiento de efluentes, caracterización, generalidades, definición y origen,” en Anexo IX: Aguas Residuales y Tratamiento de Efluentes Cloacales. *Aguas residuales*. http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf
- Melendez, L. y Milla, M. (2006). *Caracterización De Los Procesos De Recubrimientos Metalicos Utilizados En La Empresa*. 133.
- Minas, F. y Chandravanshi, B. S. y Leta, S. (2017). Chemical precipitation method for chromium removal and its recovery from tannery wastewater in Ethiopia Chemical composition of food and environmental samples View project Developing High Strength Wastewater treatment Technology in Ethiopia View project. *Chemistry International*, 3(4), 291–305. <https://www.researchgate.net/publication/316601925>
- Morales, A. C. y Reyes, D. N. y Martínez, M. B. y Delgado, T. T. y Arencibia, J. C. y Zorrilla, J. M. (2015). *Reacción de reducción de Cr (VI) a Cr (III) por iones sulfito en presencia de iones fosfato Materiales y Métodos*. Vi, 19–25.
- Morales, J. C. y Vargas, M. G. y Medina, J. (2021). Chemical oxygen demand with APHA/AWWA/WEF 5220 D procedure for high concentration adapted to micro-volume. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 12(1). <https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2021-01-04>
- National Institute of Health. (2019). Datos sobre el Cobre. *NIHH*, 1–3. <http://ods.od.nih.gov/HealthInformation/RecursosEnEspanol.aspx.%0Ahttps://ods.od.nih.gov/pdf/factsheets/Copper-DatosEnEspanol.pdf>
- New Jersey Department of Health and Senior Services. (2007). *Hoja informativa sobre sustancias peligrosas*. 2531, 1–6.
- Nordberg, G. (2001). Capítulo 63 Metales: propiedades químicas y toxicidad. En *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo* (pp. 1–76).
- Oidor, D. (2018). *DESARROLLO DE UNA PROPUESTA PARA UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA EMPRESA BIOBRILL S.A.S*. 123. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00539%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.06.0>

- 29%0Ahttp://www.cpsg.org/sites/cbsg.org/files/documents/Sunda Pangolin National Conservation Strategy and Action Plan %28LoRes%29.pdf%0Ahttps://doi.org/10.1016/j.forec
- OMS. (2021). *Intoxicación por plomo*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>
- Orellana, J. (2005). Tratamiento De Las Aguas. *Ingeniería Sanitaria- UTN - FRRO*, 1–123.
- Pabón, S. E. y Benítez, R. y Sarria, R. A. y Gallo, J. A. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9–18. <https://doi.org/10.31908/19098367.1734>
- Qu, R. y Shi, J. y Li, D. y Wei, Z. y Yang, X. y Wang, Z. (2012). Heavy Metal and Phosphorus Removal from Waters by Optimizing Use of Calcium Hydroxide and Risk Assessment. *Environment and Pollution*, 1(1), 38–54. <https://doi.org/10.5539/ep.v1n1p38>
- Ramakrishnaiah, C. y Prathima, B. (2020). HEXAVALENT CHROMIUM REMOVAL FROM INDUSTRIAL WATSEWATER BY CHEMICAL PRECIPITATION METHOD. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 2(2), 599–603.
- Reyes, Y. y Vergara, I. y Torres, O. y Díaz, M. y González, E. (2016). CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS: IMPLICACIONES EN SALUD, AMBIENTE Y SEGURIDAD ALIMENTARIA. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66–77. <https://doi.org/10.1007/BF02796157>
- Rodie, J. y Legube, B. y Merlet, N. (2011). *Análisis del agua* (OMEGA, Vol. 4).
- Rodríguez, A. y Letón, P. y Rosal, R. y Dorado, M. y Villar, S. y Sanz, J. (2006). Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales. *CEIM*. https://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/VT2_Tratamientos_avanzados_de_aguas_residuales_industriales.pdf
- Rojas, D. y Bazurto, C. A. (2020). Optimización En Los Sistemas De Floculación-Coagulación-Sedimentación De La Planta De Tratamiento De Agua Potable “La Pola”, Durante Temporada Invernal. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 8–74.
- Rubiano, C. F. (2019). Aprovechamiento De Biosólidos De La Planta De Tratamiento De Agua Residual De Tunja, Como Alternativa De Sustrato En La Revegetalización de Taludes. *Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia*.
- Sahu, O. y Chaudhari, P. (2013). Review on Chemical treatment of Industrial Waste Water. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 17(2), 241–257. <https://doi.org/10.4314/jasem.v17i2.8>
- San Martín, J. E. (2019). *Estudio De Procesos Metalúrgicos Orientados a La Producción De Níquel*. 1–111. http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/302/1/Tesis_Estudio_de_procesos_metalurgicos_orientados_a_la_produccion_de_niquel.Image.Marked.pdf
- Sanin, L. H. y González-Cossío, T. y Romieu, I. y Hernández-Avila, M. (1998). Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud. *Salud Pública de México*, 40(4), 359–368. <https://doi.org/10.1590/s0036-36341998000400009>
- Simba, E. y Zurita, M. (2021). EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE METALES PESADOS EN *Solanum lycopersicum*, *Solanum tuberosum*, *Daucus carota*, *Lactuca sativa* MEDIANTE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA, EN CUATRO MERCADOS DE LA CIUDAD DE QUITO [Universidad Politécnica Salesiana]. En *Tesis*. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- Suarez, V. y Trujillo, D. (2011). *Diseño y construcción de un equipo de jarras para la tratabilidad*

- de aguas residuales* [Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. http://www.infoplc.net/files/descargas/schneider/infoplc_net_18t00436.pdf
- Torres, P. y Cruz, C. y Patiño, P. (2009). ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA EN FUENTES SUPERFICIALES UTILIZADAS EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO. UNA REVISIÓN CRÍTICA. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín* *ÍNDICES*, 8(15), 79–94. <https://doi.org/10.1039/9781788012669-00386>
- Ubillus, J. (2003). *Estudio sobre la presencia del plomo en el medioambiente de Talara en el año 2003 Características del Plomo*.
- Vallés, M. y Fuentes, E. y Pons, J. (2018). *El plomo: un problema medioambiental y para la salud*. UABDIVULGA. <https://www.uab.cat/web/detalle-noticia/el-plomo-un-problema-medioambiental-y-para-la-salud-1345680342040.html?noticiaid=1345777559254>
- Wang, L. K. y Vaccari, D. A. y Li, Y. y Shammass, N. K. (2005). Treatment of cosmetic industry wastewater by flotation with *Moringa oleifera* Lam. and aluminum sulfate and toxicity assessment of the treated wastewater - 5Chemical Precipitation. *Physicochemical Treatment Processes*, 3, 141–197. <https://doi.org/10.1385/1-59259-820-x:141>
- Weerg. (2020). *ALUMINIO: CARACTERÍSTICAS, PROPIEDADES Y VENTAJAS*. Weerg. <https://www.weerg.com/es/es/blog/aluminio-características-propiedades-y-ventajas>
- Wong, S. S. y Teng, T. T. y Ahmad, A. L. y Zuhairi, A. y Najafpour, G. (2006). Treatment of pulp and paper mill wastewater by polyacrylamide (PAM) in polymer induced flocculation. *Journal of Hazardous Materials*, 135(1–3), 378–388. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.11.076>
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas Residuales: El Recurso Desaprovechado. En *UNESCO* (Vol. 3). http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- Yescas, P. y Segura, M. y Orozco, J. y Enríquez, M. y Sánchez, J. y Frías, J. y Montemayor, J. y Preciadol, P. (2011). Use of Different Substrates and Irrigation Frequencies to Reduce Leachate in Tomato Production. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 441–448. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792011000400441&script=sci_abstract&tlng=en
- Zhen Wu, B. Y. (2009). *Calidad físico-química y bacteriológica del agua para consumo humano de la microcuenca de la quebrada Victoria, Curubandé, Guanacaste, Costa Rica, año hidrológico 2007-2008*. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2242E/A2242E.PDF>
- Zhou, Y. y Liang, Z. y Wang, Y. (2008). Decolorization and COD removal of secondary yeast wastewater effluents by coagulation using aluminum sulfate. *Desalination*, 225(1–3), 301–311. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.07.010>

7 ANEXOS

Anexo 1: Tabla 8. Límites De Descarga Al Sistema De Alcantarillado Publico

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/L	70.0
Explosivas o inflamables	Sustancias	mg/L	Cero
Alkil mercurio		mg/L	No detectable
Aluminio	Al	mg/L	5.0
Arsénico total	Ad	mg/L	0.1
Cadmio	Cd	mg/L	0,02
Cianuro total	CN	mg/L	1.0
Cinc	Zn	mg/L	10.0
Cloro activo	Cl	mg/L	0.5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/L	0.1
Cobalto total	Co	mg/L	0.5
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/L	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/L	0,05
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/L	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/L	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/L	1,0
Fósforo Total	P	mg/L	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/L	20,0
Hierro total	Fe	mg/L	25,0
Manganeso total	Mn	mg/L	10,0

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Mercurio (total)	Hg	mg/L	0,01
Níquel	Ni	mg/L	2,0
Nitrógeno Total Kje dahl	N	mg/L	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/L	0,1
Plata	Ag	mg/L	0,5
Plomo	Pb	mg/L	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/L	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	ml/l	20,0
Sólidos Suspendidos Total e s	SST	mg/L	220,0
Sólidos totales	ST	mg/L	1 600,0
Sulfatos	SO ₄	mg/L	400,0
Sulfuros	S	mg/L	1,0
Temperatura	°C		< 40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/L	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/L	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/L	1,0

Fuente: (MAAE-Acuerdo Ministerial 097-A, 2015)

Anexo 2: Registro fotográfico de medición de parámetros físicos y químicos.
- Medición de potencial de hidrogeno y conductividad eléctrica



Nota: Análisis de pH Hanna

Fuente: Los autores



Nota: Análisis de pH LAQUAact

Fuente: Los autores

- Medición de turbidez



Nota: Colocación de la muestra en el vial
Fuente: Los autores



Nota: Análisis de la muestra
Fuente: Los autores

- Medición de solidos sedimentables



Nota: Análisis de Solidos Sedimentables
Fuente: Los autores



Nota: Medición de solidos sedimentables en cada muestra
Fuente: Los autores

-Medición de color



Nota: Colocación de 20 ml de la muestra
Fuente: Los autores



Nota: Se completa la probeta hasta llegar a 1 litro
Fuente: Los autores



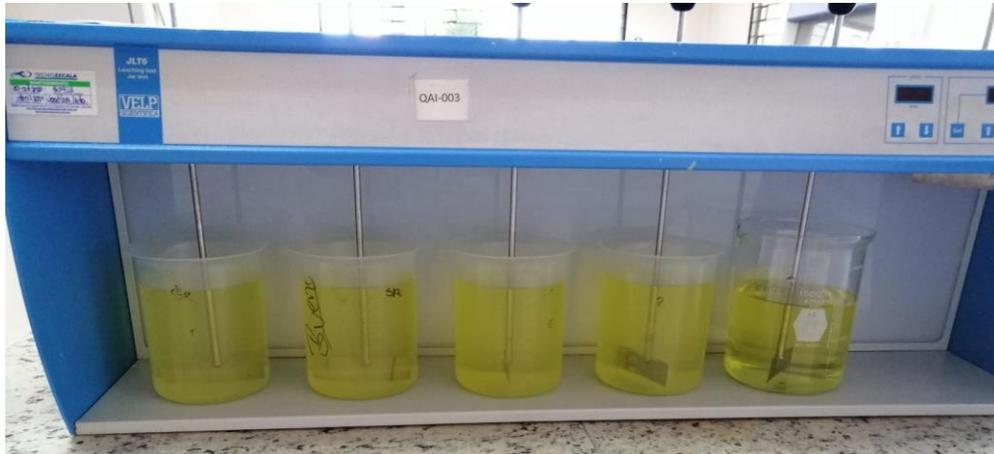
Nota: Apreciación de color Elaborado por: Los autores

- Medición de DQO



Nota: medición de DQO después del digester
Fuente: Los autores

- Jar Test



Nota: Prueba de Jarras -Enjuague de Cromo
Fuente: Los autores



Nota: Prueba de Jarras-Enjuague de Níquel
Fuente: Los autores



Nota: Prueba de Jarras Enjuague Neutralizante
Fuente: Los autores

- Filtración de muestras



Nota: Equipo de filtración con muestra de níquel
Los autores



Nota: Precipitación de sólidos sedimentables en bulbo e precipitación
 Fuente: Los autores

Anexo 3: Medición de metales fotómetro multiparámetro COD

- *Medición de aluminio*



Nota: Precipitación de sólidos sedimentables en bulbo e precipitación
 Fuente: Los autores

- *Medición de cobre*



Nota: Medición del cobre después de agregar el reactivo de medición
 Fuente: Los autores

- *Medición de cromo VI*



Nota: Colocación del reactivo de cromo VI y resultado después del a colocación del reactivo
Fuente: Los autores

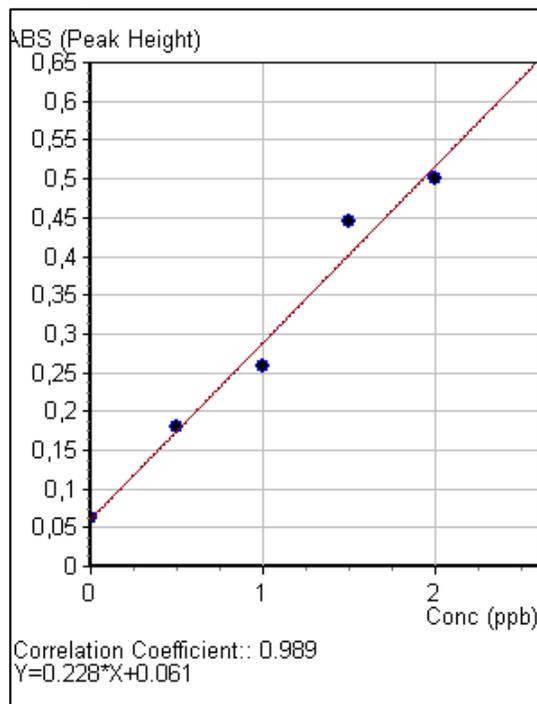
- *Medición de níquel*



Nota: Precipitación de solidos sedimentables en bulbo e precipitación
Fuente: Los autores

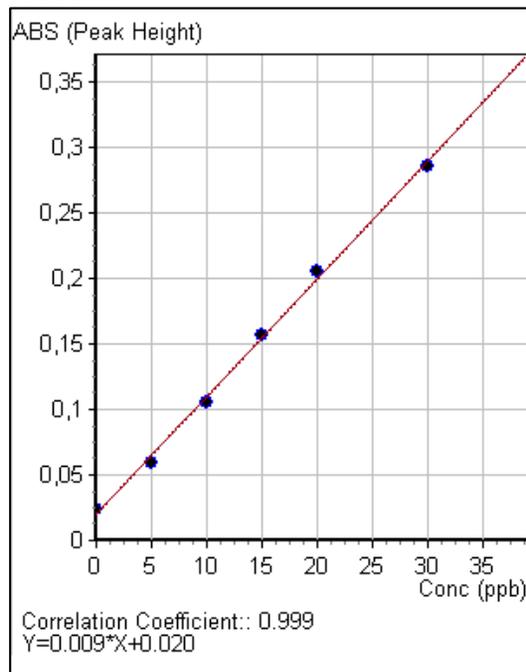
Anexo 4: Medición de metales espectrofotómetro de absorción Atómica

- *Curva de calibración cadmio*



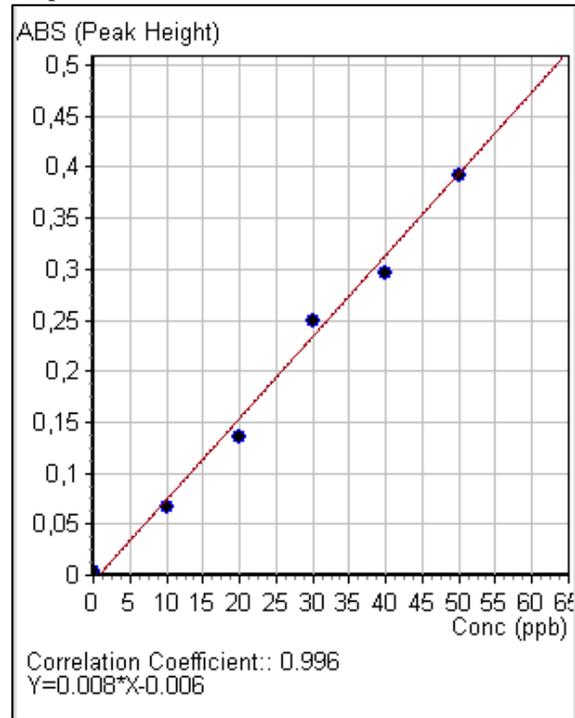
Nota: Curva de calibración de cadmio, con coeficiente de correlación de 0,989

- *Curva de calibración cobalto*



Nota: Curva de calibración de cobalto, con coeficiente de correlación de 0,999

- Curva de calibración plomo



Nota: Curva de calibración de plomo, con coeficiente de correlación de 0,986

Anexo 5: Parámetros de calidad de agua - método PAC

Parámetros de Cálida de Agua PAC- Enjuague de Cromo

Enjuague de Cromo : 0,0159 (g)

Parámetro	Valor	Tabla 8. Límites De Descarga Al Sistema De Alcantarillado Público	Cumple No Cumple N/A
DQO	0 mg/L	500 mg/L	Cumple
pH	7,49	6-9	Cumple
Conductividad	246 mV	N/A	N/A
Turbidez	52,4 NTU	N/A	N/A
Sólidos sedimentables	19 ml/l	20 ml/L	Cumple
Color (apreciable dilución 1/20)	No apreciable	N/A	No Apreciable
Aluminio	0,19 mg/L	5 mg/L	Cumple
Cadmio	0,00313 mg/L	0,02 mg/L	Cumple
Cobalto	0,038 mg/L	0,5 mg/L	Cumple
Cobre	0,66 mg/L	1 mg/L	Cumple
Cromo VI	0,76 mg/L	0,5 mg/L	No Cumple
Níquel	0 mg/L	2 mg/L	Cumple
Plomo	0,04463 mg/L	0,5 mg/L	Cumple

Nota: El vaso con menor turbidez fue el 1, con una concentración de PAC 0, 0159 g/l y el único parámetro que no cumple con los límites máximos permisibles según el AM-097A es el Cromo VI. Elaborado por: Los autores

Parámetros de Cálida de Agua PAC- Enjuague de Níquel

Enjuague de Níquel: 0,0130 (g)

Parámetro	Valor	Tabla 8. Límites De Descarga Al Sistema De Alcantarillado Público	Cumple No Cumple N/A
DQO	0 mg/L	500 mg/L	Cumple
pH	6,94	6-9	Cumple
Conductividad	290 mV	N/A	N/A
Turbidez	12 NTU	N/A	N/A
Sólidos sedimentables	4,5 ml/L	20 ml/L	Cumple
Color (apreciable dilución 1/20)	No apreciable	N/A	N/A
Aluminio	0 mg/L	5 mg/L	Cumple
Cadmio	0,00147 mg/L	0,02 mg/L	Cumple
Cobalto	0,04511 mg/L	0,5 mg/L	Cumple
Cobre	0,26 mg/L	1 mg/L	Cumple
Cromo VI	1 mg/L	0,5 mg/L	No Cumple
Níquel	990 mg/L	2 mg/L	No Cumple
Plomo	0,06688 mg/L	0,5 mg/L	Cumple

Nota: El vaso con menor turbidez fue el 1, con una concentración de PAC 0, 0130 g/l y los parámetros que no cumplen con los límites máximos permisibles según el AM-097A es el Cromo VI y el Níquel. Elaborado por: Los autores

Parámetros de Cálida de Agua PAC- Enjuague de Neutralizante

Enjuague Neutralizante: 0,0504 (g)

Parámetro	Valor	Tabla 8. Límites De Descarga Al Sistema De Alcantarillado Público	Cumple No Cumple N/A
DQO	0 mg/L	500 mg/L	Cumple
pH	6,93	6-9	Cumple
Conductividad	220 mV	N/A	N/A
Turbidez	22,9 NTU	N/A	N/A
Sólidos sedimentables	18 ml/l	20 ml/L	Cumple
Color (apreciable dilución 1/20)	No apreciable	N/A	N/A
Aluminio	0,01 mg/L	5 mg/L	Cumple
Cadmio	0,0095 mg/L	0,02 mg/L	Cumple
Cobalto	0,04078 mg/L	0,5 mg/L	Cumple
Cobre	0,19 mg/L	1 mg/L	Cumple
Cromo VI	1 mg/L	0,5 mg/L	No Cumple
Níquel	0 mg/L	2 mg/L	Cumple
Plomo	0,02425 mg/L	0,5 mg/L	Cumple

Nota: El vaso con menor turbidez fue el 2, con una concentración de PAC 0, 0504 g/l y el único parámetro que no cumple con los límites máximos permisibles según el AM-097A es el Cromo VI. Elaborado por: Los autores

Anexo 6: Parámetros de calidad de agua - método cloruro férrico

Parámetros de Cálida de Agua Cloruro férrico- Enjuague de Cromo

Enjuague de Cromo : 0,0142 (g)			
Parámetro	Valor	Tabla 8. Límites De Descarga Al Sistema De Alcantarillado Público	Cumple No Cumple N/A
DQO	0 mg/L	500 mg/L	Cumple
Ph	6,76	6-9	Cumple
Conductividad	318 mV	N/A	N/A
Turbidez	62,8 NTU	N/A	N/A
Sólidos sedimentables	20 ml/l	20 ml/L	Cumple
Color (apreciable dilución 1/20)	No apreciable	N/A	N/A
Aluminio	0,30 mg/L	5 mg/L	Cumple
Cadmio	0,00172 mg/L	0,02 mg/L	Cumple
Cobalto	0,01433 mg/L	0,5 mg/L	Cumple
Cobre	0,80 mg/L	1 mg/L	Cumple
Cromo VI	0,818 mg/L	0,5 mg/L	No Cumple
Níquel	0 mg/L	2 mg/L	Cumple
Plomo	0,02125 mg/L	0,5 mg/L	Cumple

Nota: El vaso con menor turbidez fue el 1, con una concentración de Cloruro férrico 0,0142 g/l y el único parámetro que no cumple con los límites máximos permisibles según el AM-097A es el Cromo VI. Elaborado por: Los autores

Parámetros de Cálida de Agua Cloruro férrico- Enjuague de Níquel

Enjuague de Níquel: 0,0188 (g)			
Parámetro	Valor	Tabla 8. Límites De Descarga Al Sistema De Alcantarillado Público	Cumple No Cumple N/A
DQO	0 mg/L	500 mg/L	Cumple
pH	6,1	6-9	Cumple
Conductividad	242 mV	N/A	N/A
Turbidez	11,5 NTU	N/A	N/A
Sólidos sedimentables	8,5 ml/l	20 ml/L	Cumple
Color (apreciable dilución 1/20)	No apreciable	N/A	N/A
Aluminio	0 mg/L	5 mg/L	Cumple
Cadmio	0,00134 mg/L	0,02 mg/L	Cumple
Cobalto	0,04078 mg/L	0,5 mg/L	Cumple
Cobre	0,25 mg/L	1 mg/L	Cumple
Cromo VI	0,097 mg/L	0,5 mg/L	Cumple
Níquel	810 mg/L	2 mg/L	No Cumple
Plomo	0,05738 mg/L	0,5 mg/L	Cumple

Nota: El vaso con menor turbidez fue el 1, con una concentración de Cloruro férrico 0,0188 g/l y el único parámetro que no cumple con los límites máximos permisibles según el AM-097A es el Níquel. Elaborado por: Los autores

Parámetros de Cálida de Agua Cloruro férrico- Enjuague de Neutralizante

Enjuague Neutralizante: 0,0181 (g)

Parámetro	Valor	Tabla 8. Límites De Descarga Al Sistema De Alcantarillado Público	Cumple No Cumple N/A
DQO	0 mg/L	500 mg/L	Cumple
pH	4,48	6-9	Cumple
Conductividad	409 mV	N/A	N/A
Turbidez	8,34 NTU	N/A	N/A
Sólidos sedimentables	7,5 ml/l	20 ml/L	Cumple
Color (apreciable dilución 1/20)	No apreciable	N/A	N/A
Aluminio	0 mg/L	5 mg/L	Cumple
Cadmio	0,00207 mg/L	0,02 mg/L	Cumple
Cobalto	0,04075 mg/L	0,5 mg/L	Cumple
Cobre	0,03 mg/L	1 mg/L	Cumple
Cromo VI	0,85 mg/L	0,5 mg/L	No Cumple
Níquel	0 mg/L	2 mg/L	Cumple
Plomo	0,031 mg/L	0,5 mg/L	Cumple

Nota: El vaso con menor turbidez fue el 2, con una concentración de Cloruro férrico 0,0188 g/l y el único parámetro que no cumple con los límites máximos permisibles según el AM-097A es el Cromo VI. Elaborado por: Los autores

Anexo 7: Parámetros de calidad de agua –método sulfato de aluminio

Parámetros de Cálida de Agua Sulfato de aluminio - Enjuague de Cromo

Enjuague de Cromo : 0,0115 (g)

Parámetro	Valor	Tabla 8. Límites De Descarga Al Sistema De Alcantarillado Público	Cumple No Cumple N/A
DQO	0 mg/L	500 mg/L	Cumple
pH	7,2	6-9	Cumple
Conductividad	351 mV	N/A	N/A
Turbidez	35,9 NTU	N/A	N/A
Sólidos sedimentables	ml/l	20 ml/L	Cumple
Color (apreciable dilución 1/20)	No apreciable	N/A	N/A
Aluminio	0,07 mg/L	5 mg/L	Cumple
Cadmio	0,00045 mg/L	0,02 mg/L	Cumple
Cobalto	0,00889 mg/L	0,5 mg/L	Cumple
Cobre	0,45 mg/L	1 mg/L	Cumple
Cromo VI	0,601 mg/L	0,5 mg/L	No Cumple
Níquel	0 mg/L	2 mg/L	Cumple
Plomo	0,0185 mg/L	0,5 mg/L	Cumple

Nota: El vaso con menor turbidez fue el 1, con una concentración de Sulfato de aluminio 0,0115 g/l y el único parámetro que no cumple con los límites máximos permisibles según el AM-097A es el Cromo VI. Elaborado por: Los autores

Parámetros de Cálida de Agua Sulfato de aluminio- Enjuague de Níquel

Enjuague de Níquel: 0,0113 (g)

Parámetro	Valor	Tabla 8. Límites De Descarga Al Sistema De Alcantarillado Público	Cumple No Cumple N/A
DQO	0 mg/L	500 mg/L	Cumple
pH	7,4	6-9	Cumple
Conductividad	156 mV	N/A	N/A
Turbidez	16,9 NTU	N/A	N/A
Sólidos sedimentables	ml/l	20 ml/L	Cumple
Color (apreciable dilución 1/20)	No apreciable	N/A	N/A
Aluminio	0 mg/L	5 mg/L	Cumple
Cadmio	0,00177 mg/L	0,02 mg/L	Cumple
Cobalto	0,06311 mg/L	0,5 mg/L	Cumple
Cobre	0,21 mg/L	1 mg/L	Cumple
Cromo VI	0,116 mg/L	0,5 mg/L	Cumple
Níquel	860 mg/L	2 mg/L	No Cumple
Plomo	0, 6475 mg/L	0,5 mg/L	Cumple

Nota: El vaso con menor turbidez fue el 1, con una concentración de Sulfato de aluminio 0, 0113 g/l y el único parámetro que no cumple con los límites máximos permisibles según el AM-097A es el Níquel. Elaborado por: Los autores

Parámetros de Cálida de Agua Sulfato de aluminio- Enjuague de Neutralizante

Enjuague Neutralizante: 0,0124 (g)

Parámetro	Valor	Tabla 8. Límites De Descarga Al Sistema De Alcantarillado Público	Cumple No Cumple N/A
DQO	0 mg/L	500 mg/L	Cumple
pH	7	6-9	Cumple
Conductividad	290 mV	N/A	N/A
Turbidez	9,11 NTU	N/A	N/A
Sólidos sedimentables	10 ml/l	20 ml/L	Cumple
Color (apreciable dilución 1/20)	No apreciable	N/A	N/A
Aluminio	0 mg/L	5 mg/L	Cumple
Cadmio	0,00028 mg/L	0,02 mg/L	Cumple
Cobalto	0,01511 mg/L	0,5 mg/L	Cumple
Cobre	0,09 mg/L	1 mg/L	Cumple
Cromo VI	0,140 mg/L	0,5 mg/L	Cumple
Níquel	0 mg/L	2 mg/L	Cumple
Plomo	0,01038 mg/L	0,5 mg/L	Cumple

Nota: El vaso con menor turbidez fue el 1, con una concentración de Sulfato de aluminio 0, 0113 g/l y es el único enjuague que cumple con los límites máximos permisibles según el AM-097A. Elaborado por: Los autores

Anexo 8: Pruebas de tratabilidad por enjuagues evaluados

- Enjuague de cromo



- Enjuague de níquel



- Enjuague neutralizante



- Enjuagues con pruebas de tratabilidad



Anexo 9: Determinación de concentración por metales - método PAC

- Determinación de aluminio

		EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
1	0,15	0	0,01	
2	0,22	0	0	
3	0,2	0	0,02	
Promedio	0,19	0	0,01	
SD	0,036055513	0	0,01	

Nota: Concentración de aluminio (mg/L) en los enjuague de cromo, níquel y neutralizante método PAC. Mostrando que únicamente los enjuagues de cromo y neutralizante, contiene aluminio, teniendo una concentración del 0,19 y 0,01 (mg/L) para enjuague de cromo y neutralizante respectivamente. Elaborado por: Los autores

- Determinación de cadmio

	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
1	0,00314	0,00142	0,0094
2	0,0031	0,00151	0,0093
3	0,00315	0,00148	0,0098
Promedio	0,00313	0,00147	0,0095
SD	2,6458E-05	4,5826E-05	0,00026458

Nota: Concentración de cadmio (mg/L) en los enjuague de cromo, níquel y neutralizante método PAC. Mostrando que la concentración de cadmio en los 3 enjuagues, obteniéndose como resultado 0.00313, 0.00147, 0.0095 (mg/L) para enjuague de cromo, níquel y neutralizante respectivamente. Elaborado por: Los autores

- Determinación de cobalto

	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
1	0,036	0,0451	0,04081
2	0,041	0,04509	0,04077
3	0,037	0,04514	0,04076
Promedio	0,038	0,04511	0,04078
SD	0,00264575	2,6458E-05	2,6458E-05

Nota: Concentración de cobalto (mg/L) en los enjuague de cromo, níquel y neutralizante método PAC. Mostrando que la concentración de cobalto en los 3 enjuagues, obteniéndose como resultado 0.038, 0.04511, 0.04078 (mg/L) para enjuague de cromo, níquel y neutralizante respectivamente. Elaborado por: Los autores

- Determinación de cobre

	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
1	0,62	0,29	0,16
2	0,69	0,25	0,2
3	0,67	0,24	0,21
Promedio	0,66	0,26	0,19
SD	0,03605551	0,02645751	0,02645751

Nota: Concentración de cobre (mg/L) en los enjuague de cromo, níquel y neutralizante método PAC. Mostrando que la concentración de cobre en los 3 enjuagues, obteniéndose como resultado 0.66, 0.26, 0.19 (mg/L) para enjuague de cromo, níquel y neutralizante respectivamente. Elaborado por: Los autores

- Determinación cromo VI

	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
1	0,73	1,02	1,09
2	0,77	1,01	0,96
3	0,78	0,97	0,95
Promedio	0,76	1	1
SD	0,02645751	0,02645751	0,0781025

Nota: Concentración de cromo VI (mg/L) en los enjuague de cromo, níquel y neutralizante método PAC. Mostrando que la concentración de cromo VI en los 3 enjuagues, obteniéndose como resultado 0.76, 1, 1 (mg/L) para enjuague de cromo, níquel y neutralizante respectivamente. Elaborado por: Los autores

- Determinación de níquel

	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
1	0	990	0
2	0	989	0
3	0	991	0
Promedio	0	990	0
SD	0	1	0

Nota: Concentración de níquel (mg/L) en los enjuague de cromo, níquel y neutralizante método PAC. Mostrando que la concentración de níquel únicamente en 2 enjuagues, obteniéndose como resultado 990 y 0.19 (mg/L) para el enjuague de níquel y neutralizante respectivamente. Elaborado por: Los autores

- Determinación de plomo

	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
1	0,04464	0,06691	0,02419
2	0,0446	0,0669	0,02427
3	0,04465	0,06683	0,02429
Promedio	0,04463	0,06688	0,02425
SD	2,65E-05	4,36E-05	5,2915E-05

Nota: Concentración de plomo (mg/L) en los enjuague de cromo, níquel y neutralizante método PAC. Mostrando que la concentración de plomo en los 3 enjuagues, obteniéndose como resultado 0.04463, 0.06688, 0.02425 (mg/L) para enjuague de cromo, níquel y neutralizante respectivamente. Elaborado por: Los autores.

Anexo 10: Determinación de concentración por metales - método cloruro férrico

- Determinación de aluminio

	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
1	0,27	0	0
2	0,28	0	0
3	0,35	0	0
Promedio	0,30	0	0
SD	0,043589	0	0

Nota: Concentración de aluminio (mg/L) en los enjuague de cromo, níquel y neutralizante método cloruro férrico. Mostrando que la concentración de aluminio en los 3 enjuagues, se obtuvo como resultado que únicamente el enjuague de cromo presenta aluminio, con una concentración de 0,30 mg/L. Elaborado por: Los autores

- Determinación de cadmio

	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
1	0,00174	0,00136	0,00209
2	0,00169	0,00131	0,00208
3	0,00173	0,00135	0,00204
Promedio	0,00172	0,00134	0,00207
SD	2,646E-05	2,646E-05	2,646E-05

Nota: Concentración de aluminio (mg/L) en los enjuague de cromo, níquel y neutralizante método cloruro férrico. Mostrando que la concentración de cadmio en los 3 enjuagues, se obtuvo como resultado que en los tres presentan cadmio con concentraciones de 0.00172, 0.00134 y 0.00207 mg/L para el enjuague de cromo, níquel y neutralizante respectivamente. Elaborado por: Los autores

- Determinaciones cobalto

	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
1	0,01433	0,04079	0,04072
2	0,01434	0,04081	0,04074
3	0,01432	0,04074	0,04079
Promedio	0,01433	0,04078	0,04075
SD	1E-05	3,606E-05	3,606E-05

Nota: Concentración de Cobalto (mg/L) en los enjuague de cromo, níquel y neutralizante método cloruro férrico. Mostrando que la concentración de cobalto en los 3 enjuagues, se obtuvo como resultado que en los tres presentan cobalto con concentraciones de 0.01433, 0.04078, 0.04075 mg/L para el enjuague de cromo, níquel y neutralizante respectivamente. Elaborado por: Los autores

- Determinación de cobre

	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
1	0,78	0,26	0,01
2	0,83	0,28	0,06
3	0,79	0,21	0,02
Promedio	0,8	0,25	0,03
SD	0,0264575	0,0360555	0,0264575

Nota: Concentración de aluminio (mg/L) en los enjuague de cromo, níquel y neutralizante método cloruro férrico. Mostrando que la concentración de cobre en los 3 enjuagues, se obtuvo como resultado que en los tres presentan cobre con concentraciones de 0.8, 0.25 y 0.03 mg/L para el enjuague de cromo, níquel y neutralizante respectivamente. Elaborado por: Los autores

- Determinación de cromo VI

	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
1	0,817	0,097	0,89
2	0,82	0,097	0,84
3	0,817	0,097	0,82
Promedio	0,818	0,097	0,85
SD	0,0017321	1,7E-17	0,0360555

Nota: Concentración de aluminio (mg/L) en los enjuague de cromo, níquel y neutralizante método cloruro férrico. Mostrando que la concentración de cromo VI en los 3 enjuagues, se obtuvo como resultado que en los tres presentan cromo VI con concentraciones de 0.818, 0.97 y 0.85 mg/L para el enjuague de cromo, níquel y neutralizante respectivamente. Elaborado por: Los autores

- Determinación de níquel

	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
1	0	814	0
2	0	811	0
3	0	805	0
Promedio	0	810	0
SD	0	4,5825757	0

Nota: Concentración de aluminio (mg/L) en los enjuague de cromo, níquel y neutralizante método cloruro férrico. Mostrando que la concentración de níquel en los 3 enjuagues, se obtuvo como resultado que en los tres presentan níquel con concentraciones de 0, 810 y 0 mg/L para el enjuague de cromo, níquel y neutralizante respectivamente. Elaborado por: Los autores

- Determinación de plomo

	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
1	0,02126	0,05743	0,033
2	0,02122	0,05735	0,032
3	0,02127	0,05736	0,028
Promedio	0,02125	0,05738	0,031
SD	2,65E-05	4,36E-05	0,0026458

Nota: Concentración de aluminio (mg/L) en los enjuague de cromo, níquel y neutralizante método cloruro férrico. Mostrando que la concentración de plomo en los 3 enjuagues, se obtuvo como resultado que en los tres presentan plomo con concentraciones de 0.02125, 0.05738 y 0.031 mg/L para el enjuague de cromo, níquel y neutralizante respectivamente Elaborado por: Los autores

Anexo 11: Determinación de concentración por metales - método sulfato de aluminio

- Determinación de aluminio

	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
1	0,06	0	0
2	0,05	0	0
3	0,1	0	0
Promedio	0,07	0	0
SD	0,026457513	0	0

Nota: Concentración de aluminio (mg/L) en los enjuague de cromo, níquel y neutralizante método sulfato de aluminio. Muestra que la concentración de aluminio en los 3 enjuagues de estudio, se obtuvo como resultado para el enjuague de cromo 0.7 mg/L, el enjuague de níquel 0 mg/L y en el enjuague neutralizante de 0 mg/L. Elaborado por: Los autores

- Determinación de cadmio

	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
1	0,00041	0,00179	0,00025
2	0,00046	0,00174	0,0003
3	0,00048	0,00178	0,00029
Promedio	0,00045	0,00177	0,00028
SD	3,606E-05	2,646E-05	2,646E-05

Nota: Concentración de cadmio (mg/L) en los enjuague de cromo, níquel y neutralizante método sulfato de aluminio. Muestra que la concentración de cadmio en los 3 enjuagues de estudio, se obtuvo como resultado para el enjuague de cromo de 0.00045 mg/L, el enjuague de níquel de 0.00177 mg/L y en el enjuague neutralizante de 0.00028 mg/L. Elaborado por: Los autores

- Determinaciones cobalto

	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
1	0,00892	0,06314	0,01513
2	0,00888	0,06309	0,01510
3	0,00887	0,0631	0,01510
Promedio	0,00889	0,06311	0,01511
SD	2,646E-05	2,646E-05	1,732E-05

Nota: Concentración de cobalto (mg/L) en los enjuague de cromo, níquel y neutralizante método sulfato de aluminio. Muestra que la concentración de cobalto en los 3 enjuagues de estudio, se obtuvo como resultado para el enjuague de cromo de 0.00889 mg/L, el enjuague de níquel de 0,06311 mg/L y en el enjuague neutralizante de 0.01511 mg/L. Elaborado por: Los autores

- Determinación de cobre

	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
1	0,48	0,18	0,10
2	0,43	0,20	0,11
3	0,44	0,25	0,07
Promedio	0,45	0,21	0,09
SD	0,0264575	0,0360555	0,0208167

Nota: Concentración de cobre (mg/L) en los enjuague de cromo, níquel y neutralizante método sulfato de aluminio. Muestra que la concentración de cobre en los 3 enjuagues de estudio, se obtuvo como resultado para el enjuague de cromo de 0,45 mg/L, el enjuague de níquel de 0,21 mg/L y en el enjuague neutralizante de 0,09 mg/L. Elaborado por: Los autores

- Determinación de cromo VI

	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
1	0,604	0,118	0,15
2	0,602	0,115	0,16
3	0,597	0,115	0,11
Promedio	0,601	0,116	0,14
SD	0,0036056	0,0017321	0,0264575

Nota: Concentración de cromo VI (mg/L) en los enjuague de cromo, níquel y neutralizante método sulfato de aluminio. Muestra que la concentración de cromo VI en los 3 enjuagues de estudio, se obtuvo como resultado para el enjuague de cromo de 0,601 mg/L, el enjuague de níquel de 0,116 mg/L y en el enjuague neutralizante de 0,14 mg/L. Elaborado por: Los autores

- Determinación de níquel

	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
1	0	865	0
2	0	859	0
3	0	856	0
Promedio	0	860	0
SD	0	4,5825757	0

Nota: Concentración de níquel (mg/L) en los enjuague de cromo, níquel y neutralizante método sulfato de aluminio. Muestra que la concentración de níquel en los 3 enjuagues de estudio, se obtuvo como resultado para el enjuague de cromo de 0 mg/L, el enjuague de níquel de 860 mg/L y en el enjuague neutralizante de 0 mg/L. Elaborado por: Los autores

- Determinación de plomo

	EJ-Cr	EJ-Ni	EJ-Neutra
1	0,0187	0,6475	0,01036
2	0,0180	0,6475	0,01041
3	0,0188	0,6475	0,01037
Promedio	0,0185	0,6475	0,01038
SD	4,36E-04	0,00E+00	2,646E-05

Nota: Concentración de plomo (mg/L) en los enjuague de cromo, níquel y neutralizante método sulfato de aluminio. Muestra que la concentración de plomo en los 3 enjuagues de estudio, se obtuvo como resultado para el enjuague de cromo de 0,0185mg/L, el enjuague de níquel de 0,6475 mg/L y en el enjuague neutralizante de 0,01038 mg/L. Elaborado por: Los autores

Anexo 12: Análisis de estadístico en los enjuagues de cromo, níquel y neutralizante

A continuación, se presenta una tabla resumen sobre los porcentajes de remoción de metales en estudio, según los métodos aplicados para enjuague de cromo, níquel y neutralizante. En las siguientes tablas se presenta la evaluación del porcentaje de remoción por metal y por método aplicado en cada enjuague analizado.

➤ Enjuague de níquel

Para la represión grafica de estos resultados se tomó en siguiente tabla, pero para el caso del porcentaje de remoción de aluminio y cadmio, con la aplicación de los 4 métodos en el enjuague de níquel fue de 0 por lo cual no se evidenciará gráficos de dichos metales.

- Porcentaje de remoción metales “enjuague de níquel”

Enjuague de níquel								
Porcentaje de remoción metales								
Método	Concentración							
	g/l	Aluminio	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo VI	Níquel	Plomo
PAC	0,013	0	0	0	29,73	0	0	0
Cloruro férrico	0,0188	0	0	0	32,4	32,2	0	0
Sulfato de aluminio	0,113	0	0	0	43,24	18,8	0	0
Ca(OH) ₂	1,5	0	0	54,97	0	0	100	38,89

Nota: Elaborado por: Los autores

En la Tabla anterior, se puede observar la eficiencia de cada método para la remoción de los metales evaluados, teniendo como porcentaje de remoción alto el método de hidróxido de calcio, para remoción de níquel.

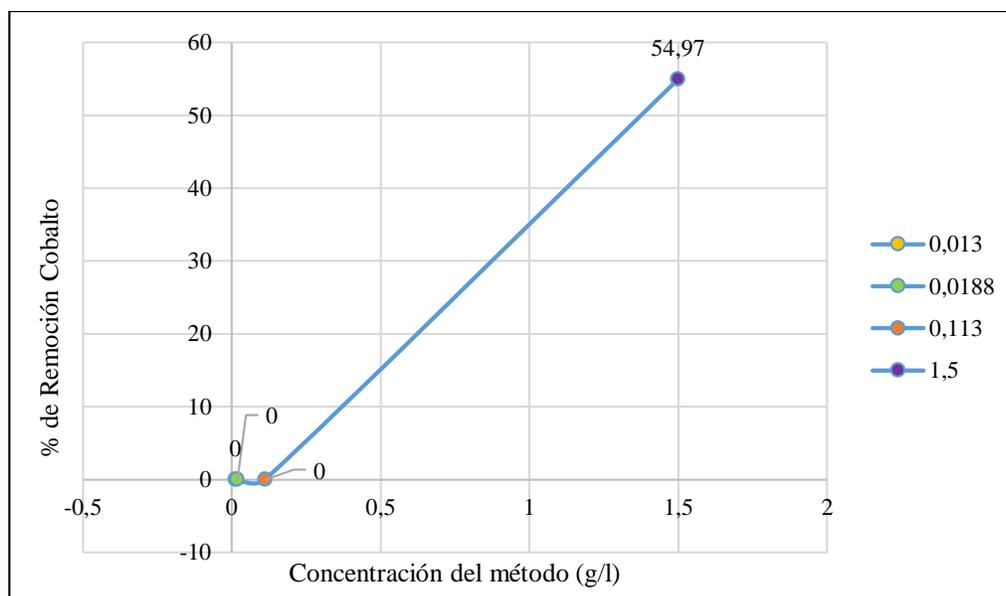
Para las siguientes figuras se debe tener en cuenta la Tabla de simbología.

- Simbología de figuras por método-enjuague de níquel

Símbolo	Significado
●	PAC
●	Cloruro férrico
●	Sulfato de aluminio
●	Hidróxido de Calcio

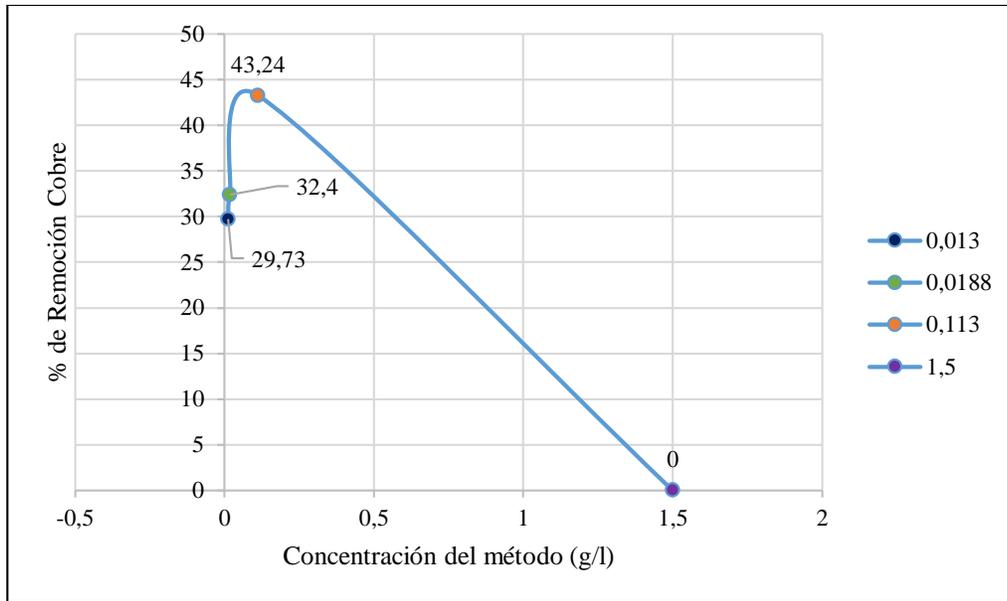
Nota: Elaborado por: Los autores

- Representación del porcentaje de remoción de cobalto, con la aplicación de los 4 métodos a los cuales fue evaluado el enjuge de níquel.



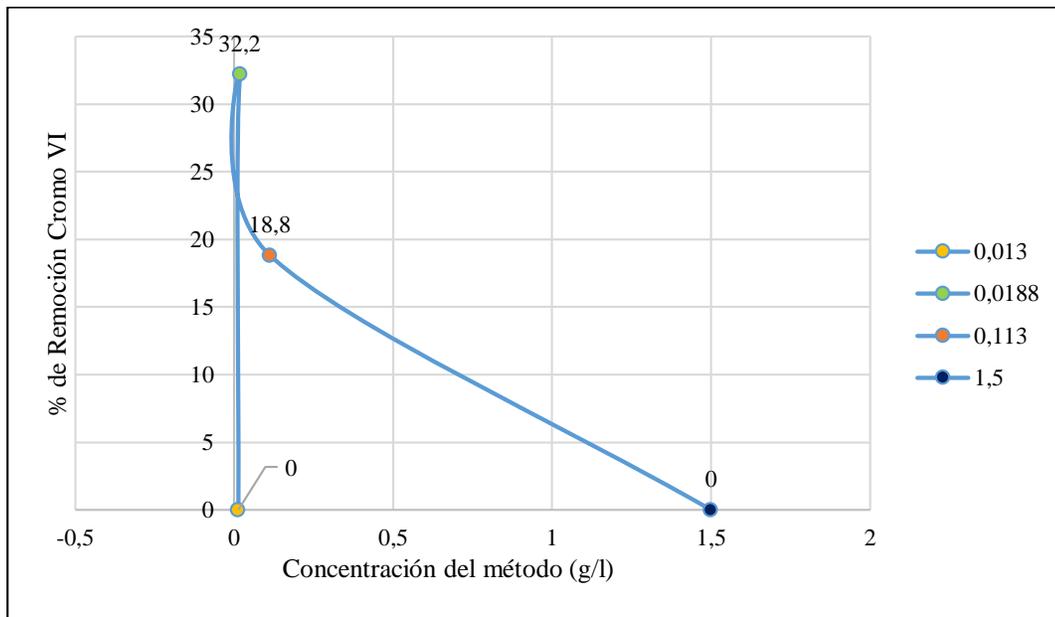
Nota: Dosis de Floculante/Coagulante vs % de Remoción cobalto

- Representación del porcentaje de remoción de cobre, con la aplicación de los 4 métodos a los cuales fue evaluado el enjuge de níquel.



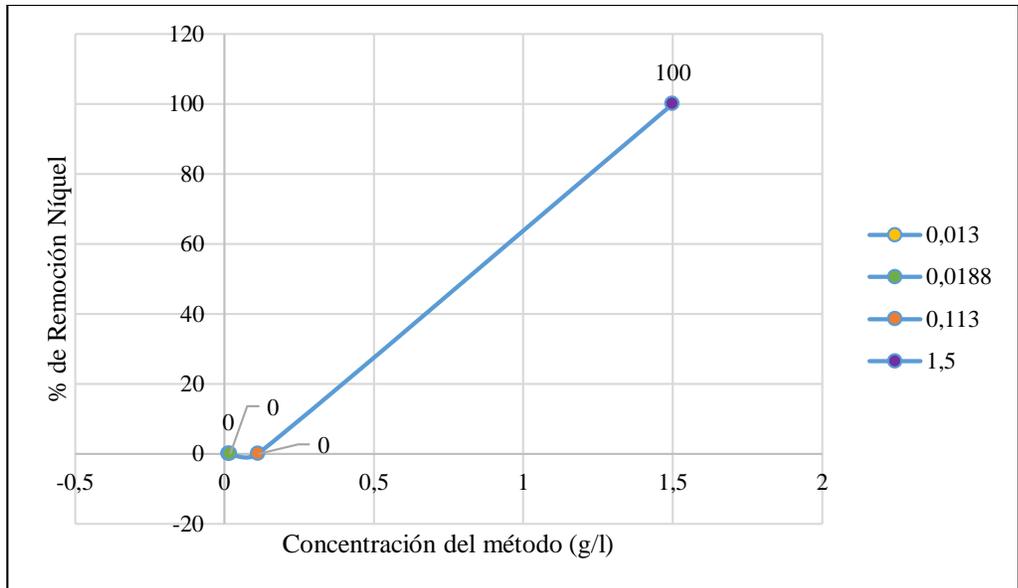
Nota: Dosis de Floculante/Coagulante vs % de Remoción cobre

- Representación del porcentaje de remoción de cromo VI, con la aplicación de los 4 métodos a los cuales fue evaluado el enjuague de níquel.



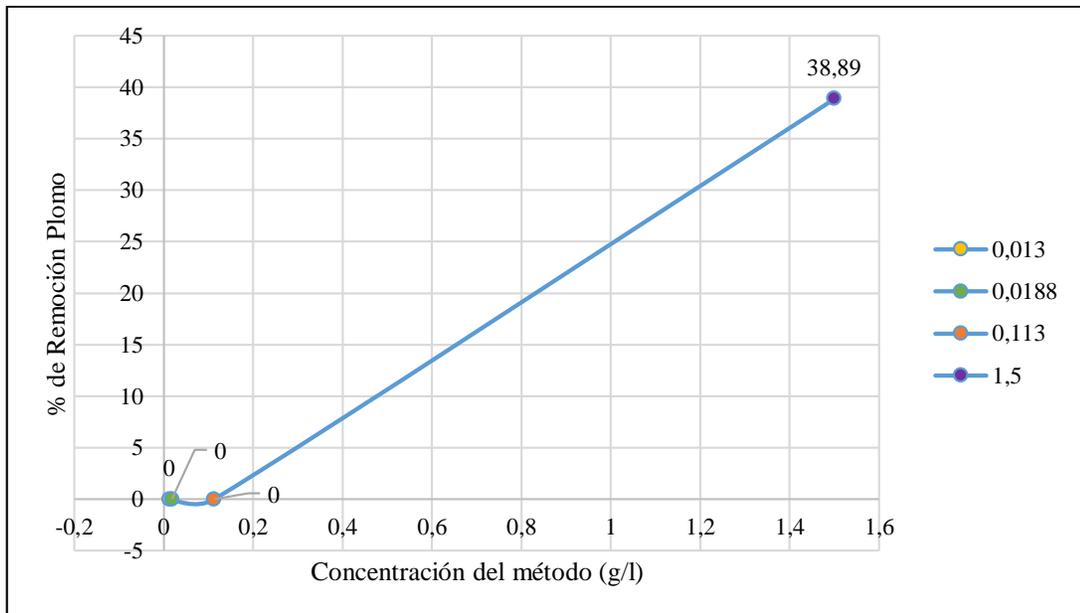
Nota: Dosis de Floculante/Coagulante vs % de Remoción cromo VI

- Representación del porcentaje de remoción de níquel, con la aplicación de los 4 métodos a los cuales fue evaluado el enjuague de níquel.



Nota: Dosis de Floculante/Coagulante vs % de Remoción níquel

- Representación del porcentaje de remoción de plomo, con la aplicación de los 4 métodos a los cuales fue evaluado el enjuague de níquel.



Nota: Dosis de Floculante/Coagulante vs % de Remoción plomo

➤ **Enjuague de cromo**

En la siguiente tabla, se puede observar la eficiencia de cada método para la remoción de metales, teniendo como método con mayor porcentaje de remoción de cromo VI el metabisulfito de sodio con un 82,11%.

Para la representación gráfica de estos resultados se tomó en cuenta la tabla siguiente, pero para el caso del porcentaje de remoción de cobalto con la aplicación de los 4 métodos en el enjuague de cromo fue de 0 por lo cual no se ha realizado gráfico de dicho metal.

- Porcentaje de remoción metales “enjuague de cromo”

Enjuague de Cromo								
Porcentaje de Remoción Metales								
Método	Concentración g/l	Aluminio	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo VI	Níquel	Plomo
PAC	0,0159	38,71	0	0	60,24	20	100	44,99
Cloruro férrico	0,0142	3,2	0	0	51,8	13,9	100	73,8
Sulfato de aluminio	0,0115	77,42	2,17	0	72,89	36,74	100	72,2
Metabisulfito de sodio	0,15	100	54,35	0	96,39	82,11	99,9	72,11

Nota: Elaborado por: Los autores

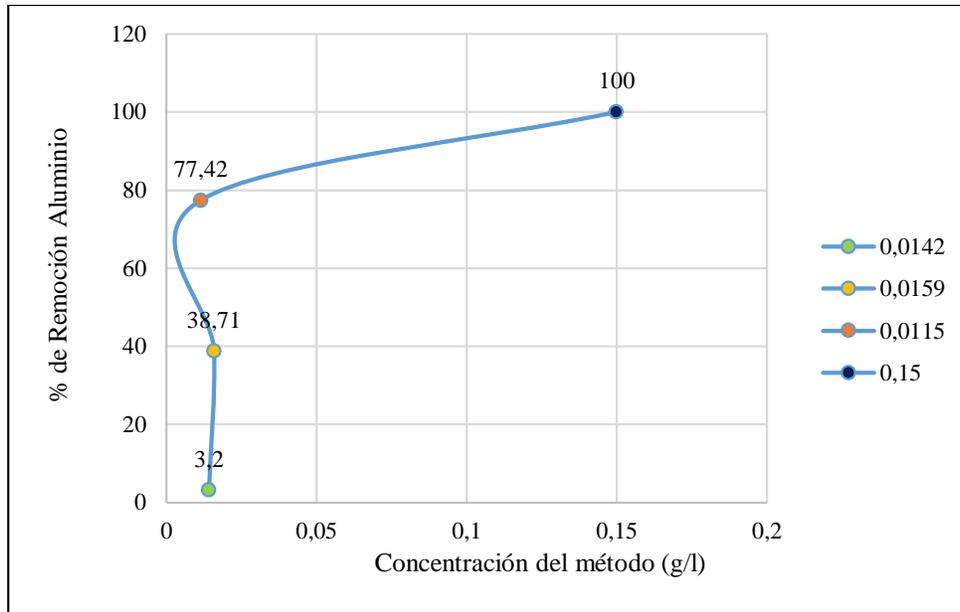
Para las siguientes figuras se debe tener en cuenta la siguiente simbología:

- Simbología de figuras por método- Enjuague de Cromo

Símbolo	Significado
	PAC
	Cloruro férrico
	Sulfato de aluminio
	Metabisulfito de Sodio

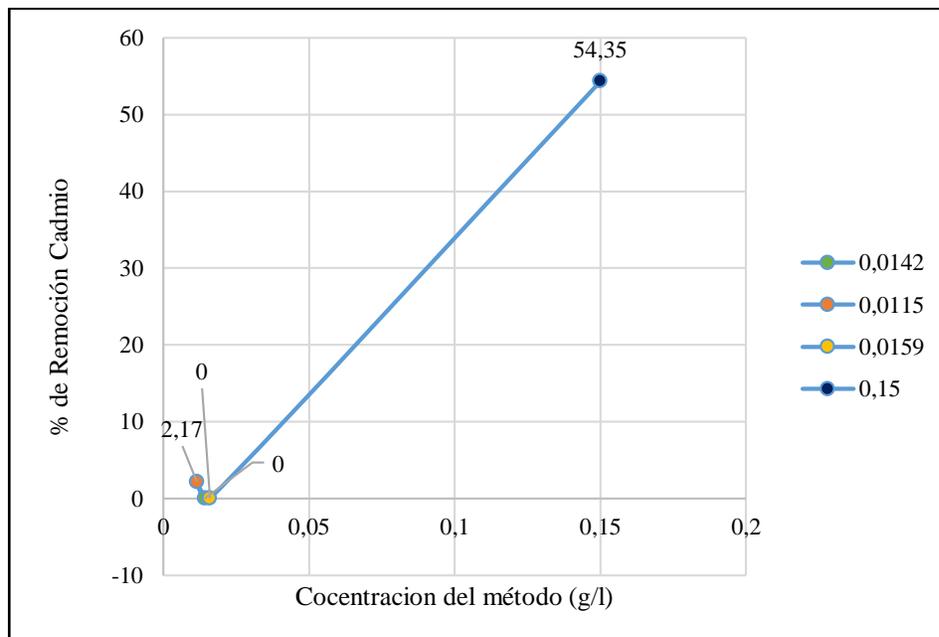
Nota: Elaborado por: Los autores

- Representación del porcentaje remoción de aluminio, con la aplicación de los 4 métodos a los cuales fue evaluado el enjuague de cromo.



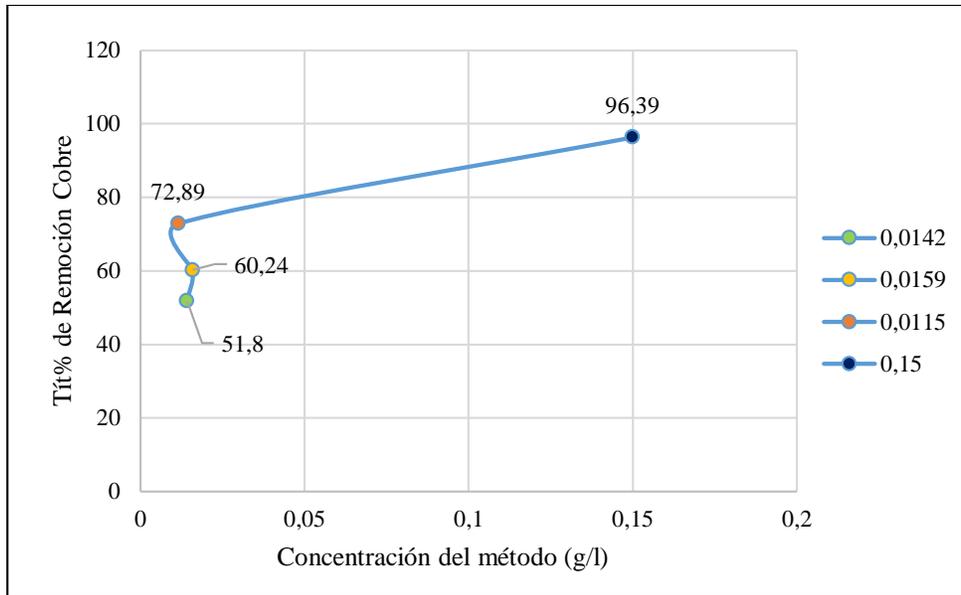
Nota: Dosis de Floculante/Coagulante vs % de Remoción aluminio

- Representación del porcentaje de remoción de cadmio, con la aplicación de los 4 métodos a los cuales fue evaluado el enjuague de cromo.



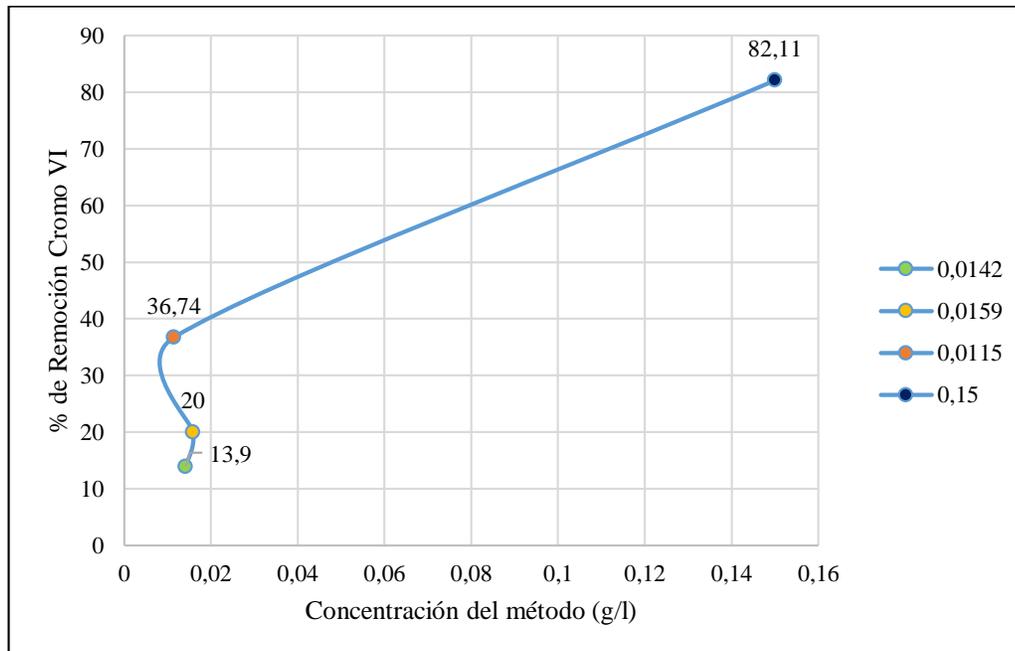
Nota: Dosis de Floculante/Coagulante vs % de Remoción cadmio

- Representación del porcentaje de remoción de cobre, con la aplicación de los 4 métodos a los cuales fue evaluado el enjuague de cromo



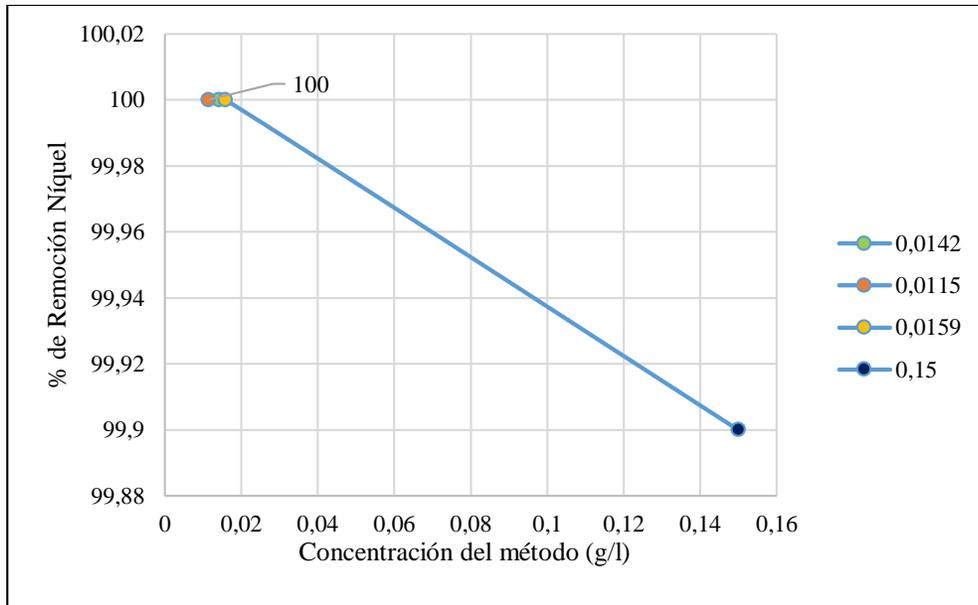
Nota: Dosis de Flocculante/Coagulante vs % de Remoción cobre

- Representación del porcentaje de remoción de cromo VI, con la aplicación de los 4 métodos a los cuales fue evaluado el enjuague de cromo



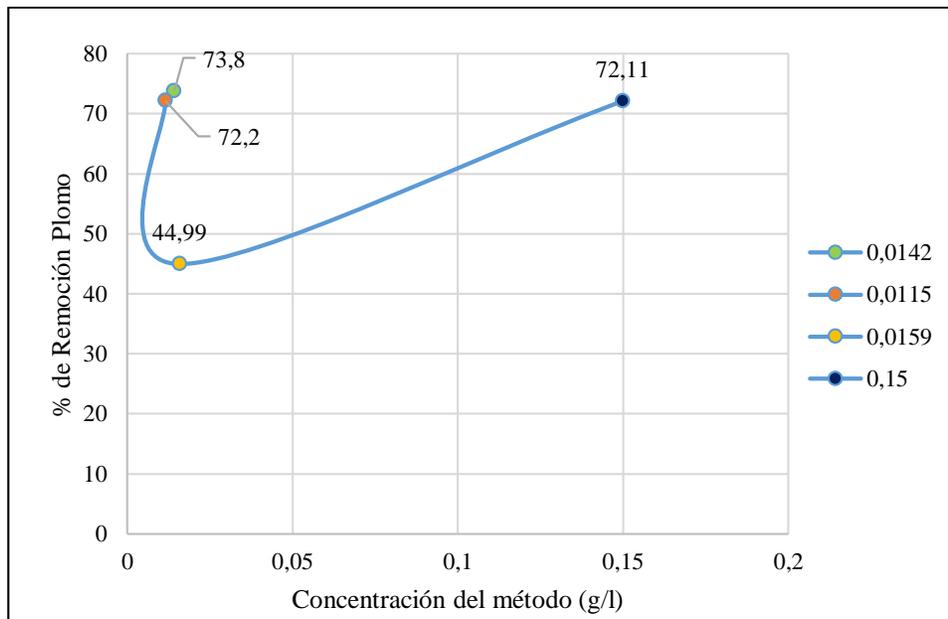
Nota: Dosis de Flocculante/Coagulante vs % de Remoción cromo VI

- Representación del porcentaje de remoción de níquel, con la aplicación de los 4 métodos a los cuales fue evaluado el enjuague de cromo



Nota: Dosis de Floculante/Coagulante vs % de Remoción níquel

- Representación del porcentaje de remoción de plomo, con la aplicación de los 4 métodos a los cuales fue evaluado el enjuague de cromo.



Nota: Dosis de Floculante/Coagulante vs % de Remoción plomo

➤ **Enjuague de Neutralizante**

Para la represión grafica de estos resultados se tomó en cuenta la siguiente tabla, pero para el caso del porcentaje de remoción de cadmio, cobalto y níquel se obtuvo 0 con la aplicación de los 3 métodos en el enjuague de neutralizante, por lo cual no se presentan gráficos de dichos metales.

- Porcentaje de remoción metales "enjuague neutralizante"

Enjuague de Neutralizante								
Porcentaje de Remoción Metales								
Método	Concentración							
	g/l	Aluminio	Cadmio	Cobalto	Cobre	Cromo VI	Níquel	Plomo
PAC	0,0504	96,88	0	0	26,92	0	0	90,67
Cloruro férrico	0,0181	100	0	0	88,5	0	0	88,1
Sulfato de aluminio	0,0124	100	0	0	60,1	70,21	0	96,01

Nota: Elaborado por: Los autores

En la Tabla anterior, se puede observar la eficiencia de cada método aplicado en el enjuague neutralizante, teniendo como método más efectivo el sulfato de aluminio, debido a que los porcentajes de remoción son mucho mayores que los otros dos métodos evaluados.

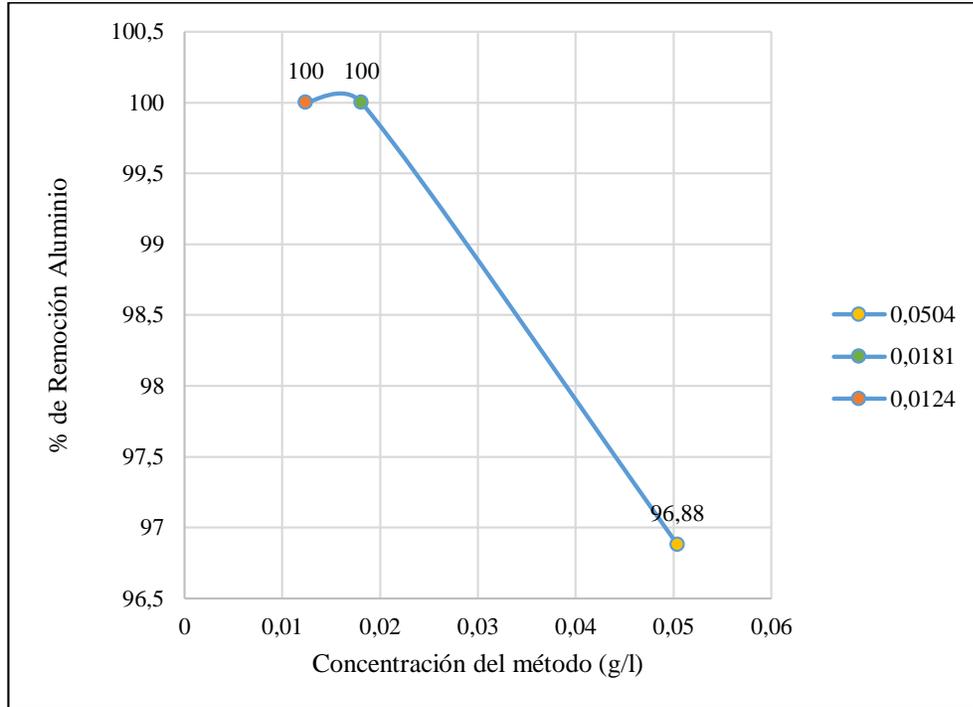
Para las siguientes figuras se debe tener en cuenta la tabla siguiente de simbología:

- Simbología de figuras por método-enjuague de neutralizante

Símbolo	Significado
	PAC
	Cloruro férrico
	Sulfato de aluminio

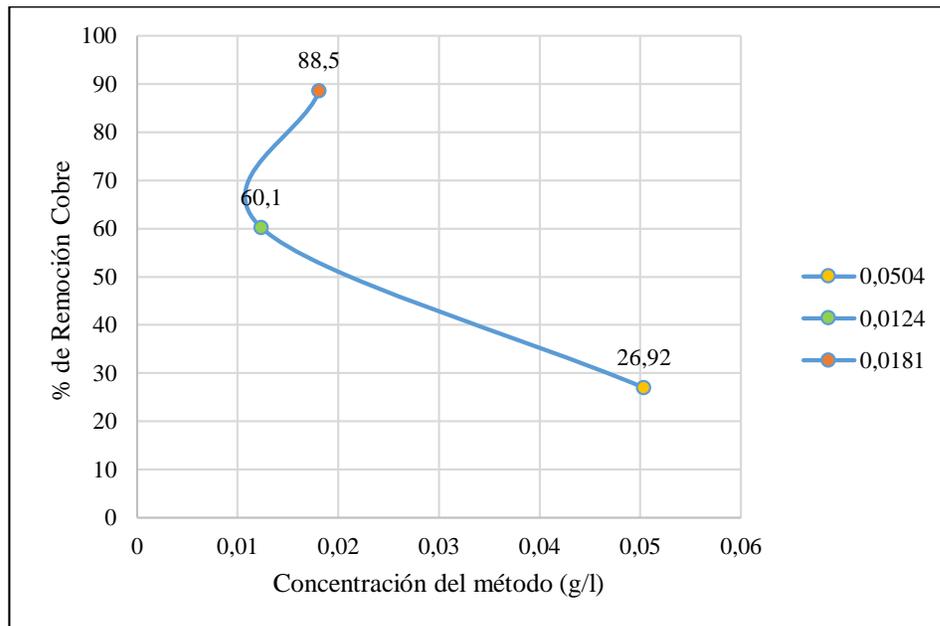
Nota: Elaborado por: Los autores

- Representación del porcentaje de remoción de aluminio, con la aplicación de los 4 métodos a los cuales fue evaluado el enjuge neutralizante.



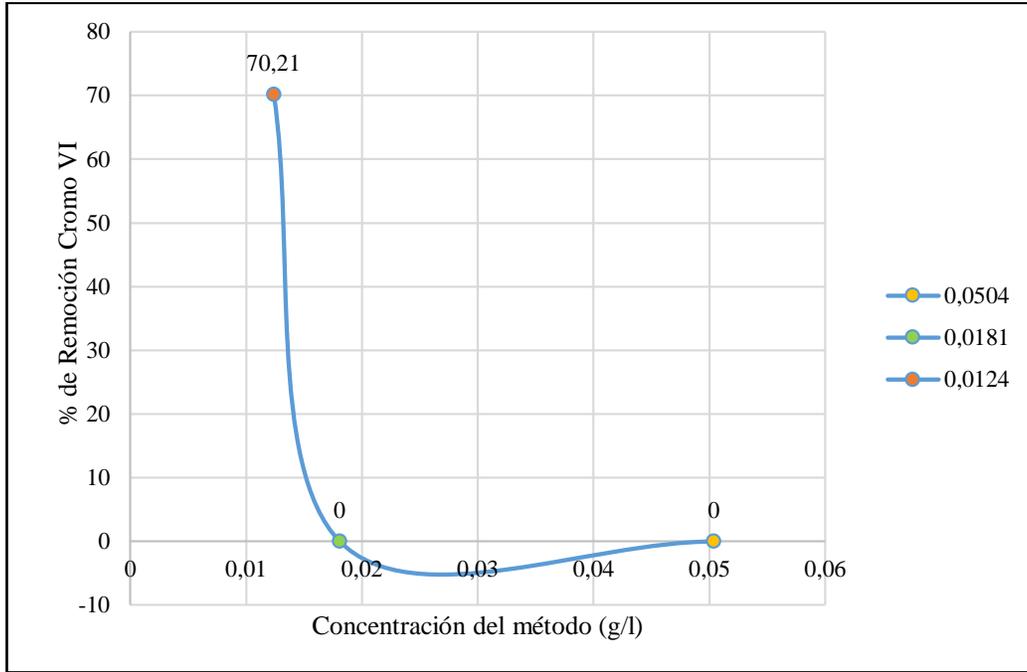
Nota: Dosis de Floculante/Coagulante vs % de Remoción aluminio

- Representación del porcentaje de remoción de cobre, con la aplicación de los 4 métodos a los cuales fue evaluado el enjuge neutralizante.



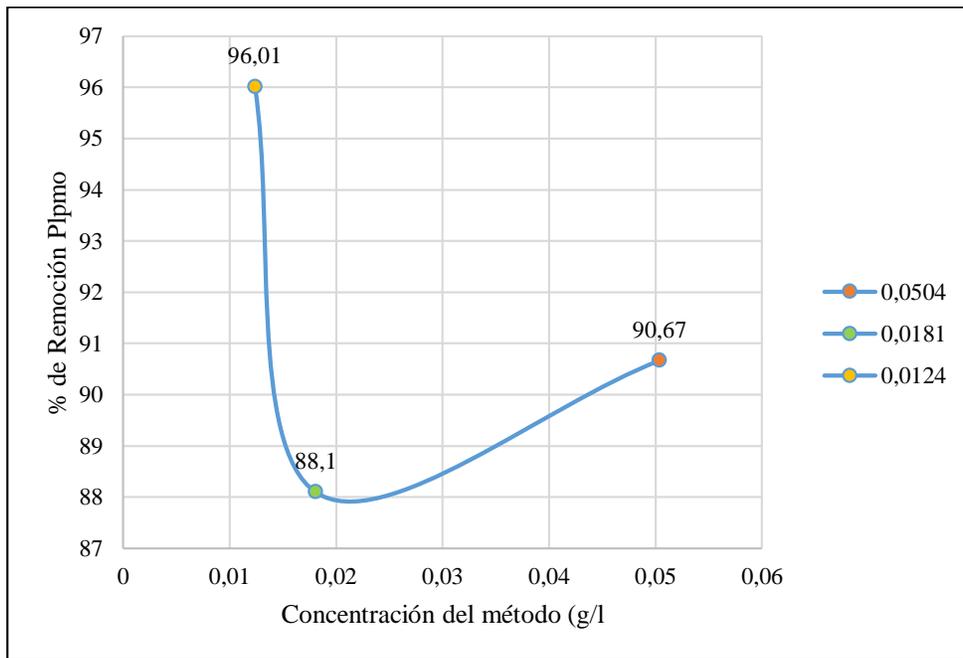
Nota: Dosis de Floculante/Coagulante vs % de Remoción cobre

- Representación del porcentaje de remoción de cromo VI, con la aplicación de los 4 métodos a los cuales fue evaluado enjuague neutralizante.



Nota: Dosis de Floclante/Coagulante vs % de Remoción cromo VI

- Representación del porcentaje de remoción de plomo, con la aplicación de los 4 métodos a los cuales fue evaluado el enjuague neutralizante.



Nota: Dosis de Floclante/Coagulante vs % de Remoción Plomo

Anexo 13: Guía de manejo del equipo de espectrofotometría de absorción atómica -método horno de grafito para los metales de cadmio, cobalto y plomo



**PROCEDIMIENTO PARA MANEJO DEL EQUIPO DE ABSORCIÓN
ATÓMICA ENDURO T2100**

**MÉTODO HORNO DE GRAFITO
PARA LOS METALES DE CADMIO, COBALTO Y PLOMO**

Elaborado Por:

Jorge Gabriel Salas Soliz
Pamela Alexandra Tabares Loza

Revisado por:

Ing. Msc. Victor John Rueda Punin

Aprobado por:

Renato Gabriel Sánchez Proaño

Quito, Mayo del 2022

INTRODUCCIÓN

El presente manual da a conocer sobre el funcionamiento del Espectrofotómetro de Absorción Atómica, con el objetivo principal de conocer una de las técnicas más útiles para el análisis de compuestos inorgánicos, especialmente para los compuestos metálicos mediante Horno de Grafito.

En el equipo de absorción atómica el método de horno de grafito, es el más recomendado debido a que tiene una alta sensibilidad, se requiere pequeños volúmenes de muestra, el uso de muestras es altamente eficiente y posee una detección en límites bajos.

El principio de funcionamiento del equipo es que atomiza un volumen discreto de muestra (entre 1 y 100 μL) en una celda pequeña, el área de la sección transversal de la celda (tubo) es lo suficientemente pequeño como para crear una densa población de átomos en la atomización, aumentando la sensibilidad sobre la llama en un factor de 20 – 1000 (Chapple y Athanasopoulos, 1991).

Justificación

El equipo de espectrofotometría de absorción atómica es un equipo que en la actualidad permite el análisis de metales en ppm y ppb, que se encuentran presentes en suelo, agua, aire, plantas, alimentos, etc.

El presente manual tiene como fin proporcionar una herramienta guía sobre el uso y funcionamiento correcto del equipo, mediante el método de horno de grafito, el cual mide en ppb, siendo el método más preciso y exacto que el de llama.

Es importante tener en cuenta que, para cada metal a analizar por horno de grafito, se debe tener en cuenta el libro de métodos “GBC Scientific Equipment SavantAA Zeeman Methods Manual” en el cual nos indicara la Tabla de “Wizaard – Graphite Furnace Heating Table” la cual cambia dependiendo el metal, ya que en algunos metales necesitan modificadores los cuales en el caso de no tenerlos se debe realizar cambios en dicha Tabla.

Objetivos

Objetivo General

- Describir el funcionamiento del equipo de espectrofotometría de absorción atómica por el método de grafito para los metales de cadmio, cobalto y plomo.

Objetivos Específicos

- Elaborar una guía práctica sobre el uso y funcionamiento del equipo de espectrofotómetro de absorción atómica por horno grafito para cadmio, cobalto y plomo.

ENCENDIDO DEL EQUIPO

Paso 1:

Encender los equipos “**Power-ON**”

- Abrir la tapa



- Encender el Boton Power



Paso 2:

Encender el Horno de Grafito, el cual se encuentra en la parte de atrás del equipo, es importante tener en cuenta de que este no se enciende para el método de llama.



Nota: En la parte de atrás al momento de encender el horno hay que fijarse que el botecito blanco alado de los cables cuente con agua, ya que si este no tiene agua puede causar alguna explosión del tubo de grafito al momento de leer las muestras



En caso de no estar con suficiente agua llenar con la piseta, por el huequito que señala la flecha que está ubicado en la parte superior del botecito.

Paso 3:

Encender el Chiller o enfriador de agua, de uso único para el método de horno de grafito



Paso 4:

- Encender el Auto Sample, de uso único para el método de horno de grafito



- Una vez encendido verificar su correcto funcionamiento, con el movimiento de la aguja y de la bandeja.



Nota: En este equipo es importante tener en cuenta que el “Water” esté llena de agua destilada y el “Water Container” que es el agua con la que se limpia la aguja del sampler este vacía



Paso 5:

- Encender la computadora
- Una vez encendida abrir el programa (**AAZPro Analysis System**). Se abrirá una pantalla pequeña en la cual nos pedirá la clave.



- La clave del equipo se encuentra en un bloc de notas con el nombre de “Clave”, abrir, copiar y pegar la contraseña.



Paso 6:

Se abre la gasa utilizar (este depende de método), en este caso el Argón

- Llave principal del gas, de manera horizontal está cerrada y manera vertical vierta



- Después de abrir la llave principal se abre la otra llave que proporciona la entrada del gas al horno de grafito, está esta vertical es decir cerrada y se la gira de manera horizontal para abrirla. **Nota:** Una vez abierta esta llave, el horno se meterá y volverá a salir cuando se complete la selección del método según el metal.



Nota:

- Es importante el uso adecuado de este gas debido a su costo por lo cual es recomendable abrirlo una vez ya esté abierto el programa en la computadora.

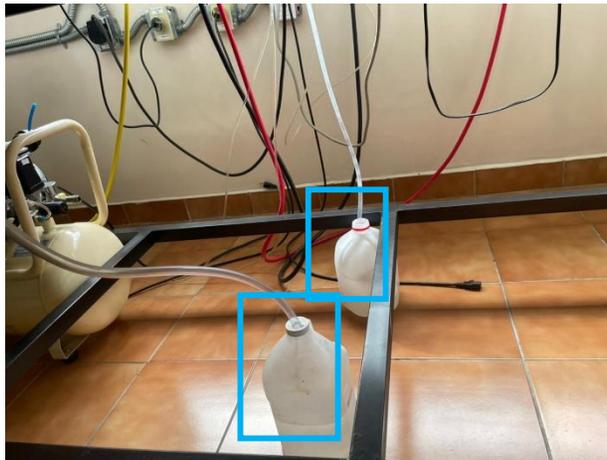
- De igual manera antes de limpiar el tubo de grafito fijarse en que el gas este abierto, debido a que el tubo puede explotar.

Paso 7:

Encender el extractor de olores



Nota: Este paso es sumamente importante ya que siempre estos botecitos deben estar vacios para que “Wastwater” provenientes del equipo.



CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE- MÉTODO HORNO DE GRADITO

Paso 1:

Una vez ingresado al programa, aparecerá un cuadro “Initializing Instruments”, en el cual se comprueba que todo en el equipo este encendido y funcionando correctamente.

Nota: desde este paso ya se debe tener encendido el gas



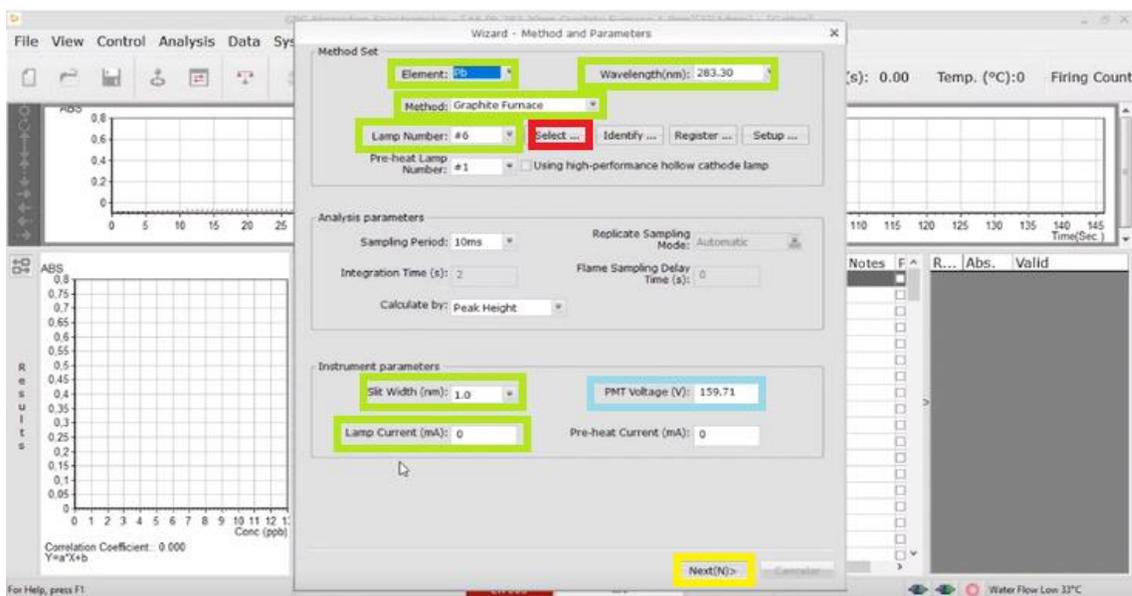
Paso 2:

Configuración del método en la siguiente pantalla (WIZARD-METHOD AND PARAMETERS)

: Representan los valores que se cambian, es decir el metal, el método.

: Representa los valores que no se deben tocar

: Este es únicamente para la selección de la lámpara según el elemento, la cual una vez seleccionada se enciende



Nota:

Los datos que van a cambiar son:

- **Element:** Se selección el metal que se va analizar.
- **Method:** Se selecciona el método de absorción de Flame Absorption o llama, Graphite Furnace o Horno de Grafito
- **Lamp Number:** se coloca el número de lámpara del metal que se va a analizar según su ubicación

Los siguientes datos son sacados del manual de GBC SCIENTIFIC EQUIPMENT “System 2000/300 Graphite Furnace Method Manual” y cuyos parámetros serán distintos dependiendo el metal a analizar.

- **Wavelength (nm):** Es la longitud de onda
- **Slit Width (nm):** El ancho de la Hendidura
- **Lamp Current (m A):** La corriente de la lámpara

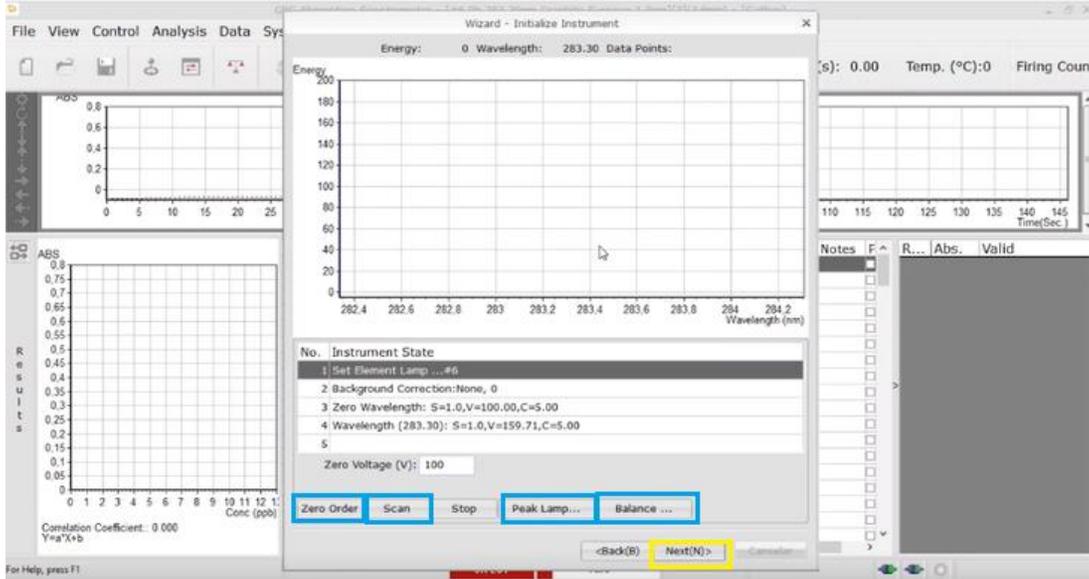
A continuación, se presentan los datos para cada metal a analizar en el presente manual:

7. Analytical Data For GF2000/3000

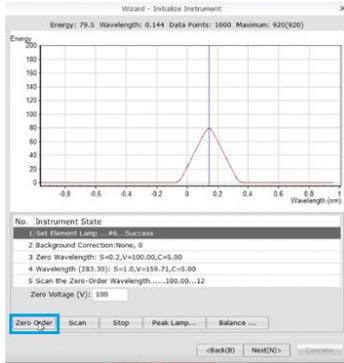
Element	Max Ash In HNO ₃	Atomize Temp	Characteristic Concentration		Characteristic Mass Ar	Typical Response (conc. for 20µL to give approx. 0.3 abs) Ar ng/mL
			Ar	N ₂		
	°C	°C	ng/mL	ng/mL	pg	
Boron B	800	2900	50	-	1000	3500
Barium hydroxide is used as a chemical modifier at a level of 30 mg Ba. Other chemical modifiers that can be used are Ca and La. Argon is the only gas that can be used. WAVELENGTH: 249.8 nm SLIT: 0.2 nm LAMP CURRENT: 20 mA						
Cadmium Cd	300	1800	0.013	0.013	0.25	1.0
Several chemical modifiers have been used for Cd, some of the more common are Phosphoric acid and ammonium phosphate salts. These allow an ash temperature of up to 600 °C. A super lamp can provide better sensitivity and detection limit. WAVELENGTH: 228.8 nm SLIT: 0.5 nm LAMP CURRENT: 3 mA						
Caesium Cs	400	2200	0.3	0.4	6.0	20
WAVELENGTH: 852.1 nm SLIT: 1.0 nm LAMP CURRENT: 15 mA						
Calcium Ca	1000	2600	0.03	0.07	0.6	2.0
Furnace optimization is important to minimize incandescence. Calcium is very sensitive and very abundant. Contamination is a problem. Ensure calcium contamination levels in the furnace and blanks are minimized. WAVELENGTH: 422.7 nm SLIT: 0.5 nm LAMP CURRENT: 10 mA						
Chromium Cr	1100	2500	0.08	0.09	1.5	5.5
Contamination is a problem with Cr determinations, especially where chromic acid washing is used. A CLEAN step might be required to remove memory from the furnace after each firing. WAVELENGTH: 357.9 nm SLIT: 0.2 nm LAMP CURRENT: 6 mA						
Cobalt Co	800	2300	0.2	0.2	4.0	15
WAVELENGTH: 240.7 nm SLIT: 0.2 nm LAMP CURRENT: 6 mA						
Pb			(283.3 nm)			
0.28 0.28 5.5 20						
The 283.3 nm line is the preferred line for routine analysis due to the lower non-atomic absorption and the more linear calibration curve. Several chemical modifiers are used for lead analysis. Some of these are: EDTA, phosphoric acid, ammonium phosphate salts, ascorbic acid, tartaric acid and sucrose. Use of a super lamp will produce better sensitivity and detection limit. The 217.0 nm line is the line at which the super lamp performs best. WAVELENGTH: 217.0 nm SLIT: 1.0 nm LAMP CURRENT: 5 mA						

Paso 3:

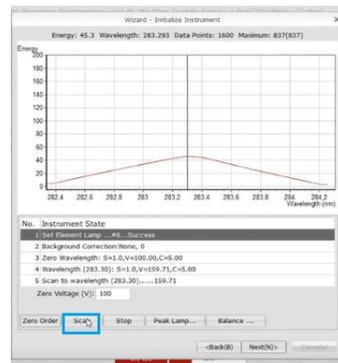
Al poner siguiente, nos va a parecer una ventana de “Wizard-Initialize Instrument”, en la cual se va a configurar el método según el metal y se procede a activar las pestañas dentro del recuadro celeste  una a una.



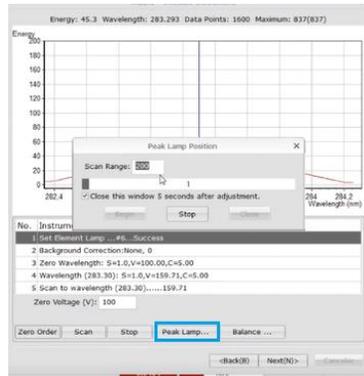
Zero Order



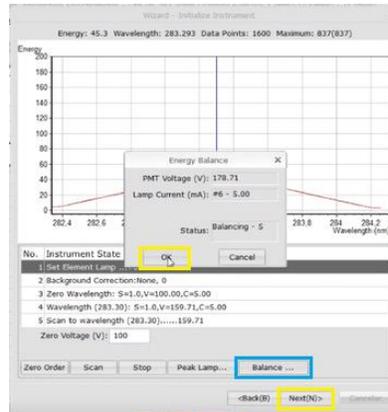
SCAN



PEAK



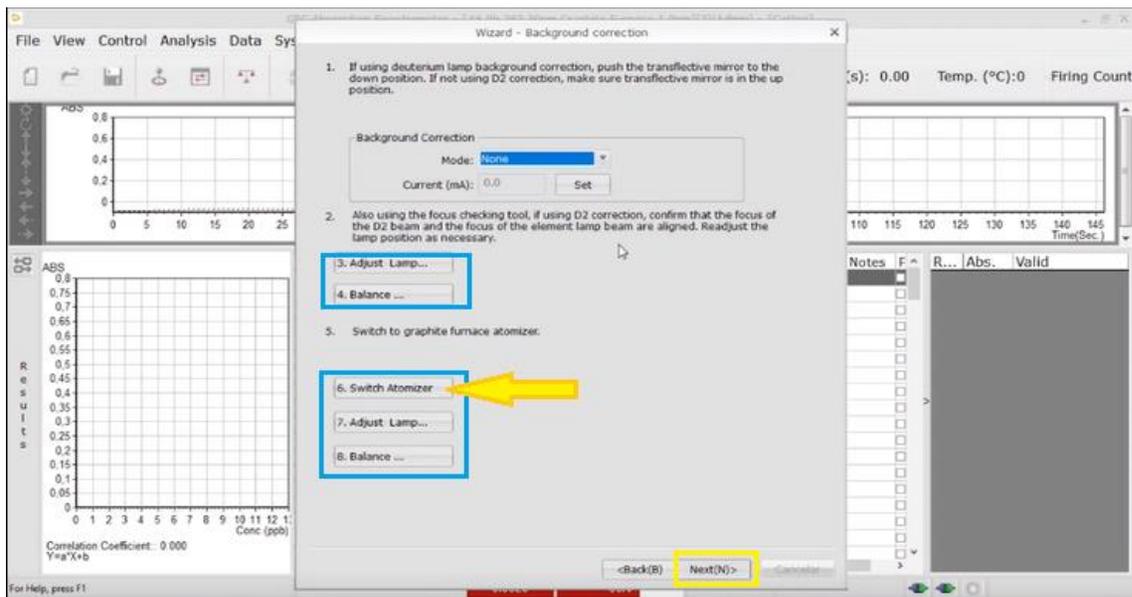
BALANCE



Nota: Cabe recalcar que los resultados del “Scan” puede variar dependiendo el metal

Paso 4:

Después de aplastar siguientes “NEXT”, nos va a parecer una pantalla llamada “Wizard-Background correction”, en la cual no se debe modificar nada, únicamente se debe verificar el adecuado funcionamiento de los botoncitos marcados en celeste, es importante que al momento de dar clic en “Switch Atomizer”, el gas ya esté abierto ya que este ayudara a que el horno salga y esté listo para realizar los análisis.



Paso 5:

Después de aplastar siguientes “NEXT”, nos aparecerá la siguiente pantalla “Wizard New Project”, en los cuales se debe realizar los siguiente:

: Estos son los datos que deben verificarse o cambiarse

: Este dato se cambia dependiendo el número de réplicas a analizar es recomendable realizar de 3 para arriba, lo cual ayuda a disminuir el error al momento del análisis.

: Estos datos dependerán de los estándares que se va a necesitar para el metal a analizar.

: Este es importante tener activado para el método de horno, debido a que con este el equipo puede calcular automáticamente los estándares, debido a que en este método se lee en ppb.

Wizard - New Project

Project ID: 472

Project Name: Project472

Description:

Blank Correction

Calibration Blank

Sample Blank

Sample Blank Every 1 Samples

Standard Sample Settings

Analysis Method: Standard Curve

Calibration: Linear

Replicates (Per STD): 1

Name	Known Conc.
STD1	50,0000
STD2	200,0000
STD3	400,0000
STD4	500,0000
STD5	50,0000
STD6	60,0000
STD7	70,0000

Sample Settings

Conc. Units: ppb

Weight Factor: 1

Weight Units: ppb

Dilution Factor: 1

Conversion Factor: 1

Volume Factor: 1

Result Units: ppb

Replicates (Per Sample): 1

Sample Name: Samp

First Sample ID: 0

Number of Samples: 0

Import Sample Names: None

Injection Volume (µL): 20

Use Autosampler

Autosampler Control...

<Back(B) Next(N)> Cancel

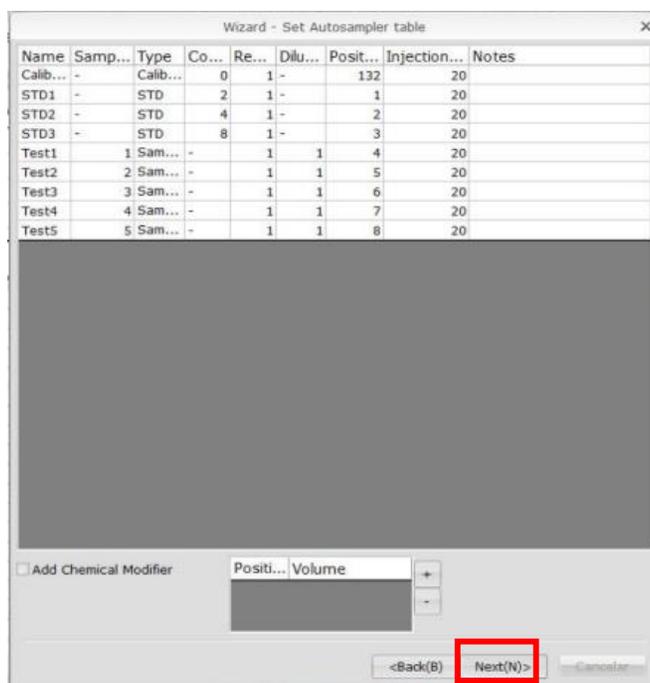
Nota:

Para esta ventana los datos que van a cambiar son:

- **Project Name:** Nombre del Proyecto
- **Description:** Descripción del proyecto
- **Analysis Method:** Se seleccionará Standard Curve
- **Calibration:** Se selecciona linear.
- **Sample Blank Every:** Este es el número de veces que se quiere poner el blanco, si solo 1 o después de cada muestra.
- **Use Autosampler:** Se activa
- **Replicates (Per Sample):** son las replicaciones que se van a realizar por muestra.
- **Conc. Units – Result Units:** La unidad para el método de horno será en *ppb*.

Paso 6:

Después de aplastar siguientes “NEXT”, nos aparecerá la siguiente pantalla “Wizard-Set Uatosampler”, en la cual no se modifica nada y se da click en “NEXT”.



Paso 7:

Nos aparecerá la siguiente pantalla “Wizard-Graphite Furnace Heating Table”. Para la verificación de datos de esta tabla es importante utilizar el Manual de GBC Scientific Equipment “SacantAA Zeeman Methods Manual”, en el cual nos da los datos de Step, Final Temp (°C), Ramp Time (sec), Hold Time (sec), Gas On/Off.

- Tabla para Cadmio

Cd

Step No	Final Temp (°C)	Ramp Time (sec)	Hold Time (sec)	Gas On/Off
1	50	1.0	2.0	On
2 Inject				On
3	90	10.0	15.0	On
4	120	15.0	10.0	On
5 Ash	850	10.0	5.0	On
6	850	0.0	1.0	Off
7 Read	2100	0.7	1.0	Off
8	2100	1.0	2.0	On

Matrix	1% HNO ₃	Magnetic Field Strength (Tesla)	1.00
Wavelength (nm)	228.8	Characteristic Mass (pg)	0.17
Slit width (nm)	0.7	Linear Concentration Range (ppb)	0-3
Sample Volume (µL)	8	Curve Fit	1.000
Modifier	1% NH ₄ H ₂ PO ₄	Modifier Volume (µL)	5

- Tabla para Cobalto

Co

Step No	Final Temp (°C)	Ramp Time (sec)	Hold Time (sec)	Gas On/Off
1	50	1.0	2.0	On
2 Inject				On
3	90	10.0	15.0	On
4	120	15.0	10.0	On
5 Ash	900	10.0	5.0	On
6	900	0.0	1.0	Off
7 Read	2400	0.7	1.0	Off
8	2400	1.0	2.0	On

Matrix	1% HNO ₃	Magnetic Field Strength (Tesla)	0.90
Wavelength (nm)	240.7	Characteristic Mass (pg)	3.0
Slit width (nm)	0.2	Linear Concentration Range (ppb)	0-35
Sample Volume (µL)	10	Curve Fit	1.000
Modifier	0.3% Mg(NO ₃) ₂	Modifier Volume (µL)	5

- Tabla para Plomo

Pb

Step No	Final Temp (°C)	Ramp Time (sec)	Hold Time (sec)	Gas On/Off
1	50	1.0	2.0	On
2 Inject				On
3	90	10.0	15.0	On
4	120	15.0	10.0	On
5 Ash	700	10.0	5.0	On
6	700	0.0	1.0	Off
7 Read	2500	0.7	0.6	Off
8	2500	1.0	1.0	On

Matrix	1% HNO ₃	Magnetic Field Strength (Tesla)	1.10
Wavelength (nm)	217.0	Characteristic Mass (ng)	3.5
Slit width (nm)	1.0	Linear Concentration Range (ppb)	0-50
Sample Volume (µL)	10	Curve Fit	0.998
Modifier	None	Modifier Volume (µL)	None

Después de analizar las tablas anteriores, se debe realizar cambios en los datos del paso 4 y 5 siempre y cuando el metal a analizar no cuente con modificador de matriz. A continuación, se muestra como queda la tabla de “Wizard-Graphite Furnace Heating Table” según cada metal.

Es importante tener en cuenta los siguientes datos:

 : Son los datos que van a cambiar si existe o no modificador de matriz

 : De este dato dependerá si es que existe cambios en las temperaturas de la tabla “Wizard-Graphite Furnace Heating Table” y también es importante tener en cuenta que los pasos 5 y 6 en esta tabla, en la tabla “Wizard-Graphite Furnace Heating Table” de son 4 y 5.

: Este dato se utilizará al momento de escoger la solución madre y el número de estándares a utilizar, este dato es importante ya que dentro de este rango se encuentra la concentración lineal del metal analizado.

- Tabla para Cadmio

Set Temperature Table ✕

Id	Step	Temp....	Ramp...	Hold T...	Inner ...	Inner ...	Assist...
1	Dry	50	1.0	2.0	On	3.0	Off
2	Dry	90	10.0	15.0	On	3.0	Off
3	Ash	120	15.0	10.0	On	3.0	Off
4	Ash	300	10.0	5.0	On	3.0	Off
5	Ash	300	0.0	1.0	Off	3.0	Off
6	Atom	2100	0.7	2.0	Off	3.0	Off
7	Clean	2100	1.0	1.0	On	3.0	Off
8	Cooling	0	0.0	70.0	On	3.0	Off

<
>

Temperature(°C)

Time(Sec.)

Add

Delete

Import ...

Export ...

Last enrich step ID:

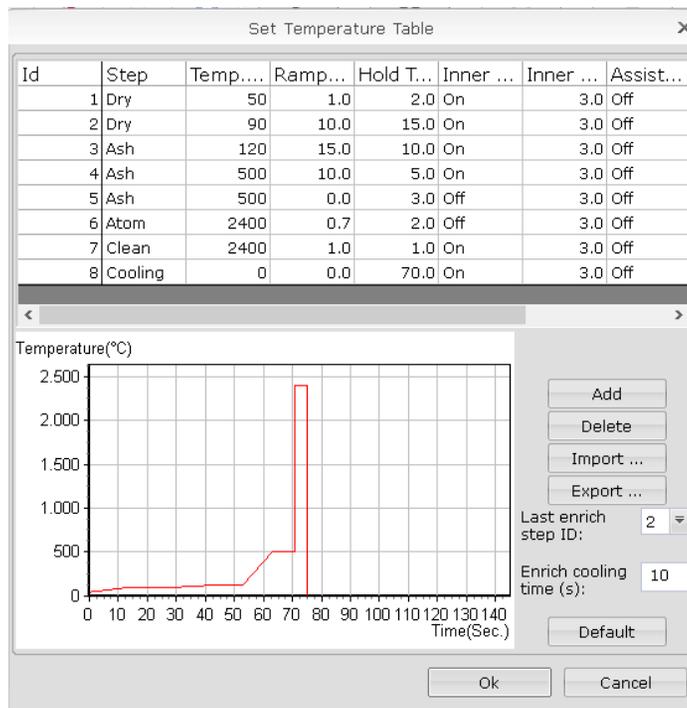
Enrich cooling time (s):

Default

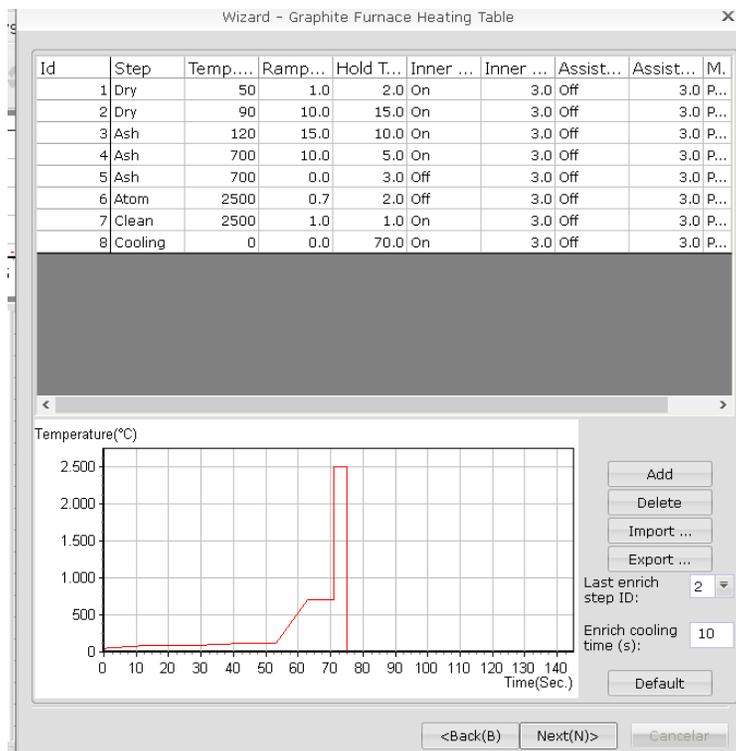
Ok

Cancel

- Tabla para Cobalto



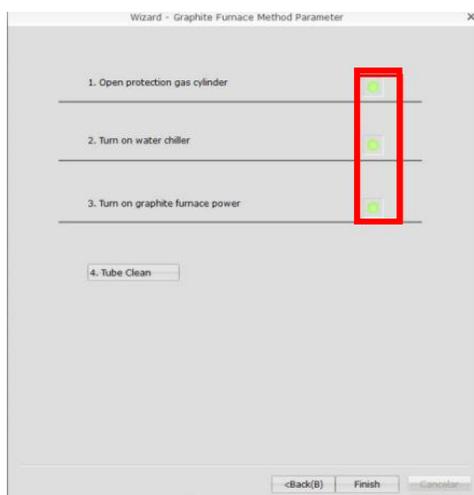
- Tabla para Plomo



Nota: Si en las tablas de métodos nos dice que el tiempo de atomización es decir el paso 6 en la tabla de “Wizard-Graphite Furnace Heating Table” es menor a 2, no se cambia ya que si la atomización es menor a dos el equipo no va a funcionar correctamente.

Paso 8:

Después de haber configurado correctamente la pantalla de “Wizard-Graphite Furnace Heating Table” y dar clic en NEXT, nos aparecerá la pantalla de “Wizard-Graphite Furnace Method Parameter”. En esta pantalla se procede a verificar si todo lo que nos aparece está activado o a su vez prendido.



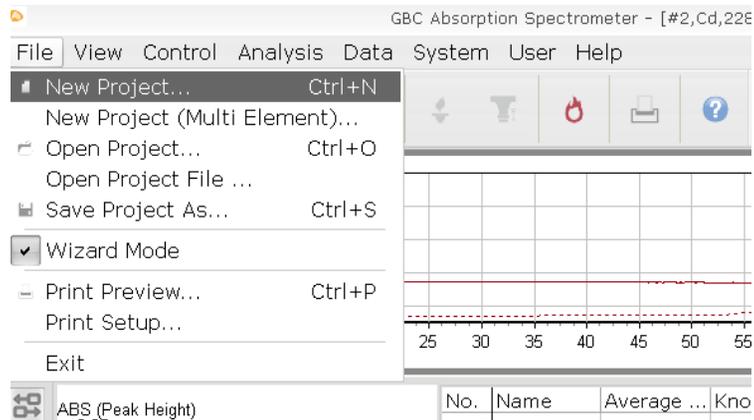
Nota: En este paso es importante que, si está realizando análisis corridos, es importante realizar una limpieza de tubo (Tube Clean), para este paso es indispensable que el Argón esté abierto, ya que el tubo de grafito puede explotar.

Se da clic en FINISH y nos aparecerá una ventana en la cual se están cargando los datos que vamos analizar.



Paso 9:

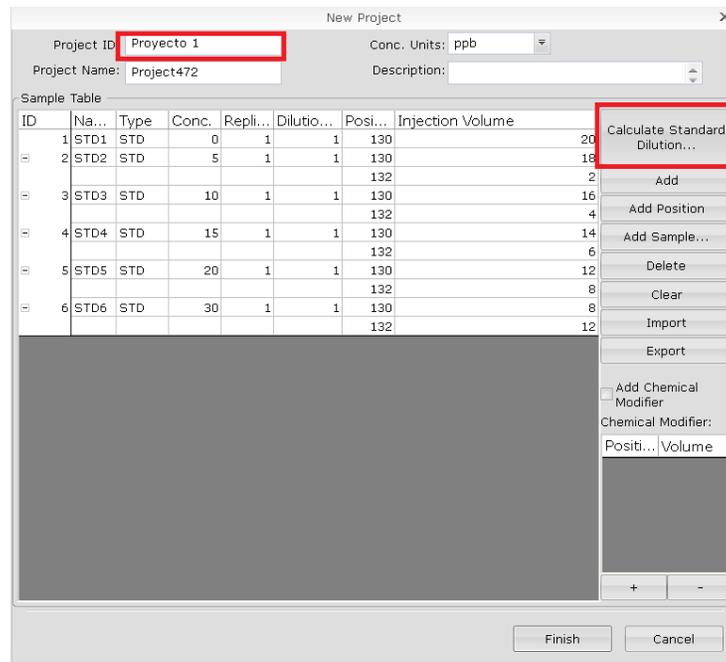
Una vez cargado los datos en la pantalla se procede a cerrar el gas, para evitar desperdiciarlo. A continuación se procede a ir a File >New Project



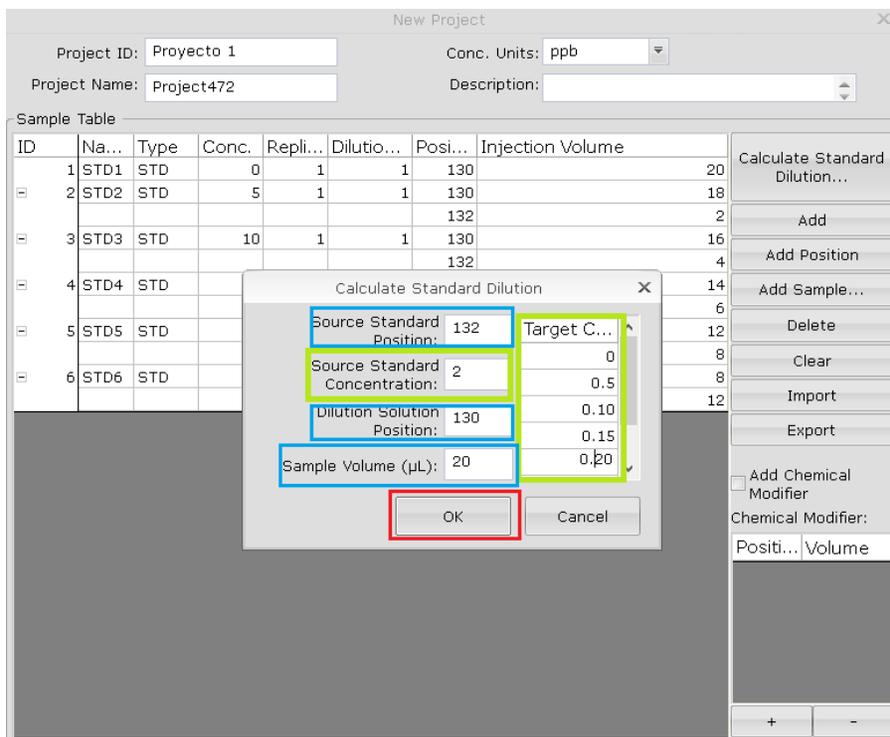
Paso 10:

Se nos abrirá una ventana “New Project”, que presenta los siguientes datos:

- **Project ID:** Como se va a identificar el proyecto
- **Project Name:** Nombre del proyecto
- **Calculate Standart Dilution:** Es el comando que nos ayudara al cálculo de los estándares de dilución a partir de una solución madre, previamente preparada.



Una vez dado clic en “Calculate Standart Dilution”, nos aparecerá la siguiente tabla en la cual se realizará las siguientes modificaciones.



 : Estos son los valores que no se debe cambiar, Debido a que cada uno ya está prestablecido por el equipo.

- Source Standard Position: Este es la estándar madre
- Dilution Solution Position: Es el blanco que se va a utilizar
- Sample Volume (µL): Este es el volumen de muestra a tomar

 : Esos son los valores que van a cambiar dependiendo la concentración del estándar madre, y dependiendo de esta concentración se escogen los estándares de dilución.

- Cadmio: 0-3 (ppb)

Estándar madre escogido: 2 ppb

- Cobalto: 0-35 (ppb)

Estándar madre escogido: 20 ppb

- Plomo: 0-50 (ppb)

Estándar madre escogido: 50 ppb

En la parte de Target Concentration, se establecerá los el numero estándares que se va a emplear para el metal a analizar, por cada metal los estándares pueden disminuir o aumentar, por ejemplo:

- En el caso del plomo la estándar madre es: **50 ppb**
- Los Target concentración serían los siguiente:
 - Blanco: 0
 - Estándar 1 (STD): 5
 - Estándar 2 (STD2):10
 - Estándar 3 (STD3):15
 - Estándar 4 (STD4):20
 - Estándar 5 (STD5):30

Nota: Es importante escoger la estándar madre dentro del rango establecido en el manual, debido a que dentro de ese rango se presentaran los análisis con mayor exactitud. Mientras más estándares se empleen mejor será la curva de calibración a analizar.

Paso 10:

Des pues de dar Click en “**Ok**”, nos aparecerá la tabla de nuevo, pero ya con el cálculo automático con los estándares establecidos.

: Concentraciones calculadas con el Calculate Standard Dilution

: Este estándar es el que servirá como blanco de la dilución

: Con este se añada las muestras las cuales se va analizar.

New Project

Project ID: Conc. Units:

Project Name: Description:

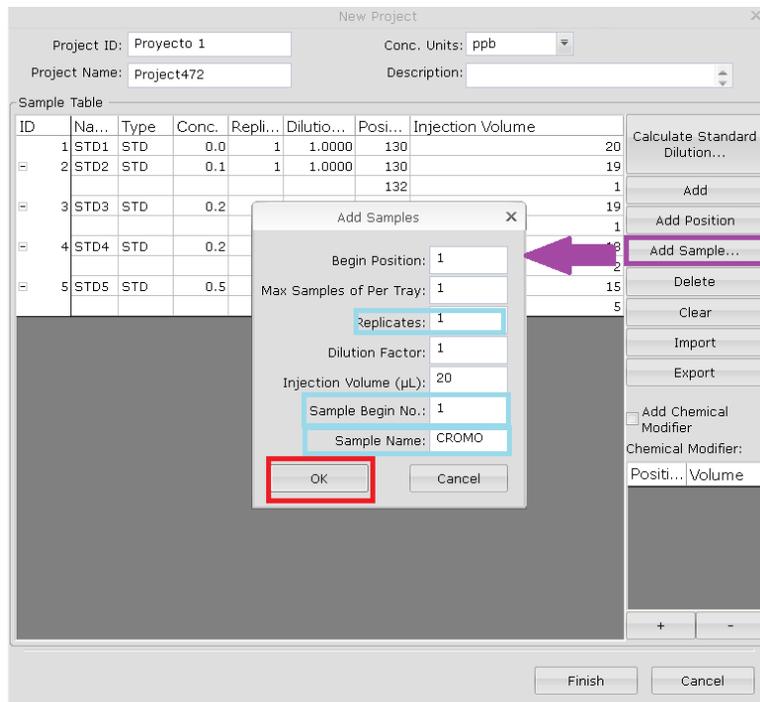
Sample Table

ID	Na...	Type	Conc.	Repli...	Dilutio...	Posi...	Injection Volume
1	STD1	STD	0.0	1	1.0000	130	20
2	STD2	STD	0.1	1	1.0000	130	19
						132	1
3	STD3	STD	0.2	1	1.0000	130	19
						132	1
4	STD4	STD	0.2	1	1.0000	130	18
						132	2
5	STD5	STD	0.5	1	1.0000	130	15
						132	5

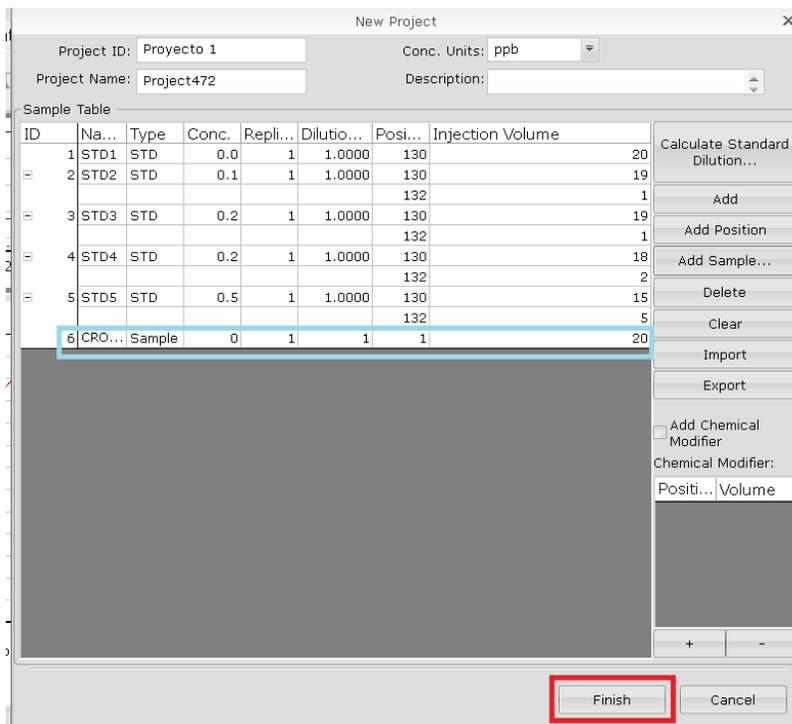
Add Chemical Modifier
 Chemical Modifier:

Dando clic en Add Sample, nos aparecerá la siguiente ventana:

- **Begin Position:** Es la posición en donde va a estar ubicado los viales con las muestras en el plato de muestra.
- **Max Samples of Per Tray:** Es el número de muestras a ser analizada.
- **Sample begin:** Este es inicio muestra
- **Replicates:** El número de réplicas que se va a realizar por muestra.
- **Samples Name:** Nombre de las muestras.



Una vez configurada la pantalla nos da como resultado lo siguiente y una vez cargadas las muestras que se desean analizar se procede a dar clic en **“Finish”**



Paso 10:

El programa está listo para empezar, se enciende el gas nuevamente y se da clic en



Paso 11:

Encender la cámara para verificar que la lámpara este encendida y que la aguja del sampler este entrando en el tubo de grafito.

Nota: Al momento de abrir la cámara si sale que no reconoce la cámara, simplemente voltear la cámara de frontal a trasera.

**Recomendaciones**

- Leer las anotaciones encontradas en el presente manual
- Verificar antes de empezar a realizar las mediciones o al momento de limpiar el tubo que el gas este abierto.
- En el caso de que la aguja no entre en el tubo de grafito, parar el muestreo, apagar el gas y proceder a prender y apagar el sampler. Una vez encendido el sampler se procede hacer la limpieza del mismo mediante el equipo o a su vez con agua destilada de manera directa en la aguja.
- Siempre utilizar la cámara, ya que con estas se verificarla correcta colocación del amuestra en el tubo de grafito.
- Siempre utilizar los libros de métodos del equipo, ya que en el mismo se encuentra el rango de muestreo según cada muestra. Es importante que se escoja la estándar madre dentro de este rango, debido a que si es mayor los datos leídos serán erróneos.

- Al momento de realizar la dilución para la estándar madre, mientras más diluciones se realizase para llegar a la concentración escogida, más exacta será la muestra.
- Siempre encender el extractor de aire para evitar inhalación de gases emitidos por el equipo.
- La posición de la lámpara de plomo en el equipo siempre será la Numero 6, si esta es colocada en otra posición no se va a encender.
- El adecuado uso del gas “Argón” dependerá de cada grupo o persona que va a utilizar el equipo, ya que siempre que no se esté utilizando el gas ya sea para la preparación de estándar madre, colocación de muestra, colocación de lámpara o limpieza del Sampler es recomendable que la llave del gas debe estar cerrada, para evitar desperdiciar el mismo.
- Al momento de escoger los estándares de dilución con los que se va a trabajar como por ejemplo (5,10,15,20,25,30), que serán realizados apartir de la solución madre de 30 ppb, es recomendable trabajar con múltiplos de 5. En el caso del cadmio que su rango de trabajo es demasiado pequeño que sean números dentro del mismo