

**MÉTODOS DE CALIBRACIÓN INSTRUMENTAL EN EAA-LLAMA Y LA HABILIDAD
PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN: UNA PROPUESTA DE ENSEÑANZA USANDO
POGIL ACOMPAÑADA DE UN TRABAJO DE LABORATORIO VIRTUAL SOBRE
BIOSORCIÓN DE CROMO CON VIRUTAS DEL WET BLUE.**

JAVIER ANDRÉS ESTEBAN-MUÑOZ.

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL.
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA.
MAESTRIA EN DOCENCIA DE LA QUÍMICA.
BOGOTÁ D.C.
2021.**

**MÉTODOS DE CALIBRACIÓN INSTRUMENTAL EN EAA-LLAMA Y LA HABILIDAD
PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN: UNA PROPUESTA DE ENSEÑANZA USANDO
POGIL ACOMPAÑADA DE UN TRABAJO DE LABORATORIO VIRTUAL SOBRE
BIOSORCIÓN DE CROMO CON VIRUTAS DEL WET BLUE.**

JAVIER ANDRÉS ESTEBAN-MUÑOZ

**Tesis de grado de Maestría -tipo monografía investigativa- para optar por el título de
Magister en Docencia de la Química.**

Directora:

**Dora Luz Gómez-Aguilar.
Doctora en Desarrollo Sostenible.**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL.
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA.
MAESTRIA EN DOCENCIA DE LA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2021.**

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a los profesores del Departamento de Química que estuvieron presentes en mi formación profesional avanzada, quienes incitaron a continuar con esta, así como los importantes conocimientos dados para complementar los trabajos investigativos; su constante guía y ayuda para formarnos en nuestras áreas académica, ciudadana, social, espiritual y profesional. Particularmente, extendiendo mis agradecimientos a los profesores Diana Parga, Dora Luz Gómez, Diego Blanco, Yolanda Ladino, Jaime Casas, Ximena Umbarila y Dianita -secretaria del departamento de Química-. Dios los bendiga inmensamente, los ángeles los guarden, protejan y acompañen junto a sus seres queridos.

En particular, agradezco a la profesora PhD. Dora Luz Gómez Aguilar (directora de este trabajo) por su constante acompañamiento y orientación en la realización de esta investigación, los sabios consejos brindados, palabras de aliento para culminar el trabajo y la Maestría; y, con quién he tenido la oportunidad de trabajar durante mi formación académica inicial y avanzada.

Asimismo, agradezco a las profesoras PhD. Renee Cole –EE. UU.- y PhD. Judite Denzel –Brasil-, los miembros del equipo ELIPSS y POGIL por compartir sus conocimientos a través de artículos, libros, material didáctico y sugerencias brindadas frente a aspectos relacionados con la investigación. Dios los bendiga inmensamente, los ángeles los guarden, protejan y acompañen junto a sus seres queridos.

Por último, agradezco a mis compañeros de Maestría en Docencia de la Química (en las modalidades de Profundización e Investigación) que me acompañaron en mi proceso de formación como futuro magister, que me brindaron su amistad y sabios consejos; de los cuales aprendí su experiencia, relatos y anécdotas vividas a lo largo de su praxis docente en diferentes lugares y situaciones, trabajo en equipo, participación en eventos académicos. Particularmente, extendiendo mis agradecimientos a Andrés Mancera Mendieta, Edwin Arnulfo Guzmán, Angélica Natalia Chembi, Carlos Mario Riveros, Carolina Tapias, Johana Elizabeth Casallas. Dios los bendiga inmensamente, los ángeles los guarden, protejan y acompañen junto a sus seres queridos.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primero que todo a Dios un gran amigo que me ha acompañado a lo largo de estos años, que siempre me recuerda:

“Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo en donde quiera que vayas.” (Josue 1: 9-Reina-Valera 1960).

Luego, dedico este trabajo a a mis padres Javier y Marlén, hermanos Alexander y Sandra; sin su apoyo incondicional, amor, palabras de aliento y anécdotas no hubiera podido continuar con este gran proceso de formación y culminación de este trabajo.

CONTENIDO

1. Introducción.	13
2. Antecedentes.	19
2.1. Panorama general de las menciones y/o investigaciones alrededor de habilidades de proceso, el método POGIL y la Química.	19
2.2. Panorama general de las menciones y/o investigaciones alrededor de la enseñanza de la EAA-llama y métodos de calibración instrumental (método estándar y EM).	21
2.3. Panorama general de las menciones y/o investigaciones alrededor de la biosorción de Cr en aguas residuales empleando las virutas del WB.	23
2.4. Antecedentes PyD.	26
2.5. Antecedentes Disciplinarios.	29
3. Delimitación, descripción y formulación del problema.	33
4. Justificación.	37
5. Objetivos.	40
5.1. Objetivo general.	40
5.2. Objetivos específicos.	40
6. Marco conceptual.	41
6.1. Marco conceptual PyD.	41
6.1.1. El método POGIL y las habilidades de proceso.	41
6.1.2. La habilidad PI.	44
6.1.3. El modelo de procesamiento de información (MPI).	49
6.1.4. Algunas sugerencias metodológicas en cuanto a la implementación del método POGIL.	50
6.2. Marco conceptual Disciplinar.	52
6.2.1. Los residuos colágenicos de las curtiembres: <i>las virutas del WB</i>	52
6.2.2. El cromo (Cr).	56
6.2.3. Bioadsorción y sus COS.	57
6.2.4. EAA.	63
6.2.5. Calibración instrumental.	66
6.2.6. Método estándar y de equiparación de matriz (EM).	67
6.2.7. CC, rango lineal, rango útil de trabajo, LOD, LOQ, sensibilidad analítica.	69
7. Metodología.	74
7.1. Tipo de paradigma investigativo.	74
7.2. Alcance de la investigación.	74
7.3. Diseño de la investigación.	74

7.4. Delimitación geográfica y temporal de la investigación y participantes.....	75
7.5. Fases de la investigación, técnicas de recolección de la información y criterios de análisis de los resultados.	76
7.5.1. Fase de estandarización del proceso de biosorción de Cr con virutas cromadas a partir de una revisión documental 2000-2021.....	76
7.5.2. Fase de diseño e implementación, a modo de pilotaje, de la PE.	77
7.5.3. Fase de análisis frente al fortalecimiento de la habilidad de proceso PI.	93
8. Resultados y discusión.	95
8.1. Estandarización del proceso de biosorción de Cr con virutas WB a partir de una revisión documental 2000-2021.....	95
8.2. Tratamiento de los datos obtenidos en las metodologías estándar y EM en la cuantificación de Cr en aguas residuales -con y sin presencia de Zn y Cu-.	104
8.3. Implementación, a modo de pilotaje, de la PE y análisis del fortalecimiento de la habilidad de proceso PI.	106
9. Conclusiones.	119
10. Recomendaciones, limitaciones y futuras investigaciones.	121
Referencias.	123
Anexos.	132
Anexo 1. Prueba para evaluar tanto los conocimientos alrededor de los métodos de calibración instrumental en EAA-llama como de la habilidad <i>Procesamiento de la Información</i> (antes y después de la implementación de la propuesta de enseñanza).	132
Anexo 2. Actividad POGIL 1: <i>Calibración instrumental en Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama: método estándar</i>	138
Anexo 3. Actividad POGIL 1: <i>Calibración instrumental en Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama: método equiparación de matriz</i>	150
Anexo 4. Trabajo de laboratorio simulado: Aplicación de la metodología estándar y equiparación de matriz en la cuantificación de Cr en un proceso de remoción con virutas del Wet blue en aguas residuales sintéticas por Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama.	162
Anexo 5. Roles POGIL y sus funciones.....	168
Anexo 6. Formulario de Informe del Analista de Procesos.	171
Anexo 7. Formato de validación de las actividades POGIL.	173
Anexo 8. Formato de validación de la prueba de conocimientos/evaluación de la habilidad <i>Procesamiento de Información</i> -antes y después de la implementación-.	177
Anexo 9. Datos obtenidos en el método estándar –Cu, Zn y Cr- y equiparación de matriz (EM) para Cr; método de mínimos cuadrados aplicado a los datos y función Estimación lineal.	180
Anexo 10. Presentación de los productos investigativos encontrados y seleccionados con relación a la bioadsorción de Cr empleando las virutas del Wet Blue –sin y con modificación fisicoquímica-.	182

Anexo 11. Árboles de palabras frente a los nodos (items/preguntas/modelos) analizados en los instrumentos/actividades.	184
---	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fuentes de información indagadas, criterios de búsqueda y productos investigativos revisados y seleccionados para la consolidación de los antecedentes P y D.....	26
Tabla 2. Fuentes de información indagadas, criterios de búsqueda y productos investigativos revisados y seleccionados para la consolidación de los antecedentes disciplinares.....	29
Tabla 3. Rúbrica de evaluación/retroalimentación de la habilidad procesamiento de información..	47
Tabla 4. Composición fisicoquímica de las virutas cromadas según algunos estudios investigativos encontrados al respecto.	53
Tabla 5. Condiciones que afectan el proceso de adsorción en fase sólida-líquida.....	58
Tabla 6. Algunas características de los modelos de Langmuir y Freundlich.	60
Tabla 7. Características de los modelos cinéticos de pseudo-primer orden y pseudo-segundo orden.	62
Tabla 8. Tipos de interferencias analíticas, características y posibles formas de reducirlas.....	68
Tabla 9. Condiciones estándar de análisis para metales sugeridos por la casa matriz Perkin Elmer (1996).....	78
Tabla 10. Instrumentos/Actividades diseñados en la investigación para la propuesta de enseñanza.	81
Tabla 11. Objetivos de aprendizaje (-de contenido y -de proceso), frente a las actividades POGIL diseñadas.....	85
Tabla 12. Instrumento/actividad, ítems de la sección pregunta/modelo y los aspectos conceptuales o metodológicos que se buscaba evaluar, así como la(s) categoría(s) de la habilidad PI.	86
Tabla 13. Planeación de las intervenciones en la implementación de la propuesta de enseñanza (semanas 1 y 2).	89
Tabla 14. Planeación de las intervenciones en la implementación de la propuesta de enseñanza (semanas 3 y 4).	90
Tabla 15. Ecuaciones de búsqueda (en español e inglés) utilizadas para la revisión documental: Biosorción de Cr empleando virutas WB (2000-2021).....	95
Tabla 16. Condiciones óptimas de biosorción para Cr empleando las virutas WB –con y sin modificación fisicoquímica- en aguas residuales (sintéticas y/o reales).....	98
Tabla 17. Modelos de isoterma, cinéticas de adsorción, capacidad máxima de adsorción, mecanismo de adsorción y proceso de desorción reportado en los productos investigativos.	99
Tabla 18. Atributos de la metodología de calibración estándar para Zn, Cu y Cr (ecuación del gráfico, coeficiente de determinación, rango lineal, LOD, LOQ, rango útil de trabajo y sensibilidad analítica).	105
Tabla 19. Atributos de la metodología EM para Cr (ecuación del gráfico, coeficiente de determinación, rango lineal, LOD, LOQ, rango útil de trabajo y sensibilidad analítica).	106
Tabla 20. Presentación de los productos investigativos encontrados y seleccionados con relación a la bioadsorción de Cr empleando las virutas del Wet Blue –sin y con modificación fisicoquímica-. ..	182

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de co-ocurrencia de términos de la búsqueda "POGIL" AND ("process skill" OR "Information Processing" OR "Processing Information") AND "Chemistry".	20
Figura 2. Mapa de co-ocurrencia de términos de la búsqueda ("spectroscopy" OR "spectrophotometry" OR "spectrometry") AND ("Atomic Absorption") AND ("teaching" OR "learning").	22
Figura 3. Mapa de co-ocurrencia de términos de la búsqueda ("chrome shavings" OR "wet blue shavings" OR "Wet blue shavings" OR "wet blue leather shavings" OR "wet blue leather chips" OR "wet blue chips" OR "tanned leather shavings" OR "wet blue leather trimming" OR "tanned leather waste" OR "chrome tanned solid waste" OR "chromium tanned leather waste" OR "wet blue chrome shaving" OR "chrome tanned leather shavings" OR "leather shaving wastes" OR "agglomerate of leather shavings" OR "chrome tanned leather shaving") AND ("water treatment" OR "aqueous solutions" OR "synthetic wastewater" OR "synthetic waste water" OR "wastewater treatment" OR "waste water treatment" OR "waste water" OR "wastewater") AND ("adsorption" OR "biosorption" OR "sorption" OR "removal" OR "removal of chromium" OR "adsorbent" OR "sorbent" OR "biosorbent") AND ("chromium" OR "Cr").	24
Figura 4. Ciclo de aprendizaje de la indagación guiada (CAIG).	43
Figura 5. Habilidades de proceso y sus definiciones operacionales.	46
Figura 6. Modelo de procesamiento de información.	50
Figura 7. Sugerencias para el diseño y estructuras de actividades de clase POGIL.	51
Figura 8. Estructura del colágeno, secuencia AAS principales e interacción Cr-colágeno.	55
Figura 9. Pasos de intervienen en un proceso cinético en fase líquida-sólida.	62
Figura 10. Proceso de Absorción Atómica.	64
Figura 11. Instrumentación en EAA.	65
Figura 12. Llamas más utilizadas en EAA-llama, proceso de atomización en la llama, partes de la llama, lámpara de cátodo hueco (<i>parte inferior derecha</i>) y sistema nebulizador-quemador (<i>parte superior derecha</i>).	66
Figura 13. Curva de calibración -con LOQ, LOD, rango lineal, rango útil de trabajo, coeficiente de determinación, ecuación del gráfico-.	70
Figura 14. Pasos para ejecutar la función Estimación lineal en la hoja de cálculo de Excel.	71
Figura 15. Curva de calibración: gráfico del método estándar y EM, y parámetros (LOD, LOQ, rango lineal, sensibilidad analítica, rango útil de trabajo, coeficiente de determinación).	73
Figura 16. Esquema del diseño explicativo secuencial (DEXPLIS).	75
Figura 17. Procedimiento para la metodología estándar de calibración en la cuantificación de Cr por EAA-llama.	78
Figura 18. Procedimiento para la metodología de equiparación de matriz en la cuantificación de Cr por EAA-llama.	79
Figura 19. Aspectos conceptuales y metodológicos abordados en la propuesta de enseñanza con respecto a los métodos de calibración instrumental en EAA-llama (métodos estándar y equiparación de matriz).	80
Figura 20. Nube de palabras con respecto a las palabras más mencionadas por los autores en sus artículos y trabajo de Pregrado.	96
Figura 21. Nube de palabras frente a las especificaciones de los productos investigativos encontrados y seleccionados (artículos y trabajo de Pregrado).	96
Figura 22. Mapa del Proyecto: análisis de contenido en los productos investigativos encontrados y seleccionados.	97
Figura 23. Nube de palabras con respecto a las isotermas de adsorción, modelo cinético, mecanismo de sorción y proceso de desorción.	101

Figura 24. Nube de palabras con respecto a las condiciones óptimas de uso de las virutas WB –con y sin modificación fisicoquímica- para remover Cr en aguas residuales (sintéticas y/o reales).	101
Figura 25. Curva de calibración Cu: método estándar.	104
Figura 26. Curva de calibración Cr: método estándar.	104
Figura 27. Curva de calibración Zn: método estándar.	105
Figura 28. Curva de calibración Cr: método equiparación de matriz.	105
Figura 29. Nube de palabras referente a los valores numéricos predominantes y algunos términos frente a la validación de los instrumentos/actividades de la propuesta de enseñanza.	107
Figura 30. Arbol de palabras del nodo comentarios, sugerencias y/o recomendaciones dados en el juicio de expertos frente referente a los instrumentos/actividades de la propuesta de enseñanza. .	107
Figura 31. Participantes de la investigación codificados como E1-E9, equipos de trabajo conformados (ET1-ET3), así como instrumentos/actividades aplicadas en la implementación de la propuesta de enseñanza.	109
Figura 32. Herramienta Padlet con las preguntas orientadoras frente a la actividad inicial de los roles POGIL con algunas respuestas dadas por los estudiantes participantes.	110
Figura 33. Nube de palabras frente a las respuestadas dadas por los E <i>antes</i> de la implementación de la PE en el ítem 1.1 del instrumento inicial.	111
Figura 34. Nube de palabras frente a las respuestadas dadas por los E <i>después</i> de la implementación de la PE en el ítem 1.1 del instrumento inicial.	111
Figura 35. Árbol de palabras frente a la selección realizada por los E en el numeral 2 antes de la implementación de la PE.	112
Figura 36. Árbol de palabras frente a la selección realizada por los E en el numeral 2 después de la implementación de la PE.	112
Figura 37. Nube de palabras frente a las respuestadas dadas por los E después de la implementación de PE en los ítems 3.1 a 3.2 del instrumento inicial.	113
Figura 38. Nube de palabras frente a las respuestadas dadas por los E antes de la implementación de PE en los ítems 3.1 a 3.2 del instrumento inicial.	113
Figura 39. Nube de palabras frente a las respuestadas dadas por los E después de la implementación de PE en la pregunta 4 del instrumento inicial.	115
Figura 40. Nube de palabras frente a las respuestadas dadas por los E antes de la implementación de PE en la pregunta 4 del instrumento inicial.	115
Figura 41. Árbol de palabras referente a las respuestas dadas por los E frente a la elección de los parámetros extraíbles de una CC seleccionada antes de la implementación de la PE.	116
Figura 42. Árbol de palabras referente a las respuestas dadas por los E frente a la elección de los parámetros extraíbles de una CC seleccionada después de la implementación de la PE.	116
Figura 45. CC reportada por E3 antes de la implementación de la PE.	116
Figura 43. CC reportada por E3 después de la implementación de la PE.	116
Figura 44. Árbol de palabras referente a las respuestas dadas por los E frente a la elección de los parámetros extraíbles de una CC seleccionada después de la implementación de la PE.	117
Figura 46. Árbol de palabras para el ítem 1.1 en cuanto algunas respuestas dadas por los E para el método estándar antes de la implementación de la PE.	184
Figura 47. Árbol de palabras para el ítem 1.1 en cuanto algunas respuestas dadas por los E para el método estándar después de la implementación de la PE.	184
Figura 48. Árbol de palabras para el ítem 1.1 en cuanto algunas respuestas dadas por los E para el método EM antes de la implementación de la PE.	185
Figura 49. Árbol de palabras para el ítem 1.1 en cuanto algunas respuestas dadas por los E para el método EM después de la implementación de la PE.	185
Figura 50. Nube de palabras frente a las respuestadas dadas por los E después de la implementación de PE en los ítems 3.1 a 3.2 del instrumento inicial.	185

Figura 51. Arbol de palabras frente a las respuestas dadas por los E antes de la implementación de PE en el ítem 4 del instrumento inicial. 185

Figura 52. Arbol de palabras frente a las respuestas dadas por los E después de la implementación de PE en el ítem 4 del instrumento inicial. 186

LISTA DE ACRÓNIMOS Y SIGLAS.

EAA	Espectrofotometría de Absorción Atómica.
EAA-llama	Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama.
AA	Absorción atómica.
EM	Equiparación de matriz.
WB	Wet Blue.
PyD	Pedagógicos y didácticos
PI	Procesamiento de información.
MPI	Modelo de procesamiento de información.
Cr	Cromo.
Zn	Zinc.
Cu	Cobre.
POGIL	Process Oriented Guided Inquiry Learning.
ELIPSS	Enhancing Learning by Improving Process Skills.
PAC	POGIL Activity Clearinghouse.
LOD	Límite de detección.
LOQ	Límite de cuantificación.
CAIG	Ciclo de aprendizaje de la indagación guiada.
AAS	Aminoácidos.
DEXPLIS	Diseño explicativo secuencial.
E	Estudiante.
ET	Equipo de trabajo.
PE	Propuesta de enseñanza.
SENA	Servicio Nacional de Aprendizaje.
STEM	Science, Technology, Engineering and Mathematics.
etc.	Etcétera.
QA	Química analítica.
QAI	Química analítica instrumental.
MCI	Métodos de calibración instrumental.
ICP-MS	Plasma Acoplado Inductivamente-Espectrometría de Masas.
CC	Curva de calibración.
R ²	Coeficiente de determinación.
TLV	Trabajo de laboratorio virtual.
COS	Condiciones óptimas de sorción.
uma	Unidad de masa atómica.
OMS	Organización Mundial de la Salud.
PLQ-UPN	Programa de Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional.
CCC	Characteristic concentration check.
TIC	Tecnologías de la Información y la Comunicación.
MC	Marco conceptual.
ANA-POGIL	Analytical Process Oriented Guided Inquiry Learning.

FTIR	Espectrofotometria infrarroja con transformada de Fourier.
PC	Pensamiento crítico.
AC	Agentes curtientes.
ODS	Objetivos del Desarrollo Sostenible.
COVS	Compuestos orgánicos volátiles.
DQO	Demanda química de oxígeno.
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno.
pH pcc	pH punto de carga cero.
PPO	Pseudo primer orden.
PSO	Pseudo segundo orden.
ARS	Agua residual sintética.
CEO	Condiciones estándar de operación.
CA	Carbones activados.
COA	Condiciones óptimas de absorción.
VD	Virutas del WB desintoxicadas.
SSED	Sólidos sedimentables.
GyA	Grasas y aceites.
UV-VIS	Ultravioleta-visible.
HPLC	High Performance Liquid Chromatography (Cromatografía Líquida de Alto Desempeño).
GC	Cromatografía de gases.

1. Introducción.

El desarrollo y/o fortalecimiento de habilidades de proceso –también denominadas *habilidades (-profesionales, -blandas, -laborales, -transferibles)*- paulatinamente se ido convirtiendo en un foco investigativo tal como lo hacen saber algunos autores (Reynders *et al.*, 2019; Schmidt-McCormack *et al.*, 2019; Rodríguez *et al.*, 2020). Esto, en áreas del conocimiento como Química, Farmacia, Medicina, Ciencias Sociales, Física y Astronomía, etc., en niveles como la Educación superior y en programas académicos de formación profesional continuada y avanzada (Rodríguez *et al.*, 2020).

Lo anterior, se debe a su gran importancia en contextos industriales, académicos y/o científico-investigativos; pues los empleadores de diversas empresas o instituciones educativas requieren de personal y/o profesionales que cuenten con los conocimientos teórico-prácticos necesarios para ejercer su rol dentro de dichas Organizaciones así como habilidades relacionadas con el trabajo en equipo, comunicación (-oral, -escrita, -interpersonal), resolución de problemas, procesamiento de información, pensamiento (-crítico, -creativo, -analítico) (ELIPSS, 2017a; 2017b; Reynders *et al.*, 2019; Toro, 2019).

Entre las habilidades profesionales especificadas en ofertas laborales publicadas en portales web como la Agencia Pública de Empleo del Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) (2022) se encuentra el Procesamiento de Información (PI). Su definición operacional esta relacionada con “*evaluar, interpretar, manipular o transformar información*” (ELIPSS, 2017a, 2017b; Cole *et al.*, 2019a; Reynders *et al.*, 2019, POGIL, 2021).

En la literatura se han reportado importantes metodologías y/o estrategias pedagógico-didácticas para promover el desarrollo y/o fortalecimiento de este tipo de habilidades transferibles. Tal es el caso del método POGIL (*Process Oriented Inquiry Learning, por sus siglas en inglés*), donde el equipo investigador que lleva su nombre expresó que es una metodología instruccional centrada en el estudiante, cuyo pilar es el desarrollo de importantes habilidades de proceso y la construcción del conocimiento se da en pequeños equipos de trabajo (ET); siendo el profesor un facilitador del aprendizaje más que una fuente de información (POGIL, 2021).

Por otro lado, entre los aspectos conceptuales y/o metodológicos en la enseñanza de la Química analítica instrumental (QAI) abordados en los programas académicos de carreras afines a la Química; y, con los cuales debería contar un futuro profesional en esta área del conocimiento son los métodos de calibración instrumental (MCI). Debido a que se hace necesario que los futuros profesionales conozcan la técnica instrumental, la metodología analítica, y que ofrezcan posibles cambios y/o sugerencias a la Organización según los requerimientos y el contexto donde se desenvolverán (académico, científico-investigativo, industrial) (Lantz & Cole, 2014; Schmidt-McCormack, 2017; Esteban-Muñoz *et al.*, 2020). Asimismo, generalmente, el área de Gestión del Talento Humano indaga este tipo de temas a la persona aspirante a la oferta laboral relacionada (Deng *et al.*, 2014; Manjón-Marín, 2017). Frente a ello, el presente trabajo abordó los métodos de calibración estándar y equiparación de matriz (EM); esto, en la técnica analítica instrumental de Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) con atomización de llama.

La EAA es una de las técnicas analíticas instrumentales de mayor uso en cuanto al análisis de más de 60 especies iónicas metálicas; las cuales pueden estar presentes en matrices como suelo, agua, fluidos biológicos (sangre, saliva), cabello, uñas, etc. (Razmilic, 2021). Dependiendo del tipo de metales, grado de toxicidad y cantidad se elige un sistema apropiado de atomización para la muestra. Para el caso del presente trabajo se tomó la atomización por llama, en la cual se genera vapor atómico -que contiene el analito de interés- en forma de átomos neutros (Harris, 2010; Skoog *et al.*, 2015; Razmilic, 2021).

La EAA-llama presenta una excepción frente a la determinación de elementos metálicos altamente volátiles o que pueden formar óxidos tóxicos a altas temperaturas, entre los que se

encuentran Hg, As, Se, Cd, Sb, Bi, Ge, Te, Tl, Sn, Pb, Ni, Ga; para los cuales conviene usar el Generador de Hidruros, Horno de Grafito, vapor frío (solo para mercurio) o ICP-MS (Plasma Acopado Inductivamente – Espectrometría de Masas) para realizar el análisis respectivo (Perkin-Elmer Corporation, 1996; Nicácio *et al.*, 2007; Phiri, 2017).

En suma, la calibración tiene como propósito asegurar el funcionamiento del equipo, la escala de medida, la señal analítica; así como verificación de la medición en términos de las unidades. Asimismo, la comparación de valores medidos de un equipo instrumental determinado contra el valor de referencia de un sistema estándar de concentración definida y la sustancia de calibración; lo cual implica determinar la relación entre la concentración del mensurando y la respuesta de la técnica empleada (Rubinson y Rubinson, 2001; Clavijo, 2002; Harris, 2010).

Complementando lo anterior, Cuadros-Rodríguez *et al.* (2001), refiere a la calibración como aquel proceso bajo ciertas condiciones en el que se busca establecer la relación entre la medición - física o química- dada por un instrumento frente a cantidades determinadas presentes en un sistema de referencia (estándares de calibrado).

El método estándar de calibración, *o también conocida como metódica tradicional*- concierne al proceso en el que se elaboran una pequeña serie de patrones o estándares de calibración de concentración conocida del analito de interés, que generan una determinada señal analítica según el instrumento empleado. Se realiza con el fin de obtener particularmente un gráfico conocido como curva de calibración (Clavijo, 2002; Miller y Miller, 2010; Skoog *et al.*, 2015). Por tanto, esta metodología implica tres pasos: preparación de disoluciones patrón, medida de la señal, y cálculos matemáticos (Carter *et al.*, 2018).

Asimismo, la EM –*también conocida como metódica de fortificación o igualación de matriz*- refiere a una metodología de calibración donde se busca fortificar o igualar, tan cerca como sea posible, las condiciones fisicoquímicas de la matriz analítica a los estándares o patrones de calibración –sistemas multielemento- (Miller y Miller, 2010; Skoog *et al.*, 2015; Eurolab España, 2016; Phiri, 2017). Para ello, se realiza una disolución spiked o “matriz de muestra” que reúne las interferencias –sean de tipo físico o químico- que podrían influir en el trabajo analítico (Miller y Miller, 2010).

De dichos procesos se busca obtener una curva o carta de calibración (CC); la cual refiere a un gráfico construido a partir de la lectura obtenida según la señal analítica (en este caso la absorbancia) –variable dependiente eje Y- contra las concentraciones conocidas del analito de interés –variable independiente abscisa X-; por supuesto, elaborado con las parejas de datos de dichas variables (X, Y)- (Clavijo, 2002; Miller y Miller, 2010; Skoog *et al.*, 2015).

A partir del gráfico obtenido y seleccionado se obtienen las concentraciones –generalmente por interpolación- del analito en una determinada matriz analizada bajo las mismas condiciones de los estándares y respuestas del sistema analítico. Adicionalmente, a partir de la CC se pueden inferir atributos como el rango lineal, intervalo útil de trabajo, límite de detección (LOD), límite de cuantificación (LOQ) y sensibilidad analítica del análisis realizado. Por supuesto, junto con su respectiva ecuación del gráfico de forma: $Y = b \cdot X + a$, que en términos analíticos referiría a señal analítica = $m \cdot [] + a$, con un criterio de aceptación en función del R^2 0.995 a 1 (Miller y Miller, 2010).

Para el caso de temas en QAI como el mencionado, en la formación inicial, continuada y avanzada de futuros profesionales se involucran situaciones socio-ambientales como eje articulador aplicativo y contextualizado en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Generalmente, involucrando el análisis fisicoquímico de matrices relacionadas con el agua, el suelo, el aire, alimentos, etc. (Finch *et al.*, 2015; White *et al.*, 2020). En esta investigación, se vinculó un trabajo de laboratorio virtual (TLV) que envuelve el uso de un residuo sólido proveniente de la actividad de las curtiembres conocido como virutas del Wet Blue (WB); esto, desde la aplicación simulada en cuanto a las condiciones óptimas de sorción (COS) para remover especies iónicas de cromo en aguas residuales (sintéticas y/o industriales).

Con relación a las virutas WB, corresponden a residuos sólidos colagénicos derivados de la etapa mecánica del rebajado del cuero curtido o piel WB; obteniéndose aproximadamente 225 kg/1000 kg de piel salada y 991,41 kg/año (Rodríguez, 2014; Likmyeleh-Deriso, 2014). Este tipo de biomateriales son dispuestos generalmente en rellenos sanitarios sin algún tratamiento fisicoquímico previo. Otras veces, se incineran produciendo emisiones gaseosas como NO_x, CO₂, etc.; o se disponen en lugares aledaños en bolsas o simplemente desechados a través del sistema de alcantarillado (Rodríguez, 2014). Frente a este tipo de situaciones que involucra la salud ambiental y humana se ha buscado revalorizar este tipo de residuos en términos de la elaboración de jabones, compostaje, fertilizantes, biocombustible; asimismo, paulatinamente han surgido investigaciones relacionadas con su potencial aplicación para descontaminar aguas residuales que presentan contaminantes como algunos colorantes y metales pesados (Likmyeleh-Deriso, T., 2014; Rodríguez, 2014; Milena, 2020; Rigueto *et al.*, 2020).

En cuanto al Cromo (Cr), corresponde a un elemento químico de la serie de metales de transición, Z = 24, masa atómica 51,996 uma, densidad 7,19 g/mL. El Cr puede estar presente en diversas formas químicas desde estados de oxidación cero hasta seis (Likmyeleh-Deriso, 2014). Sus aplicaciones industriales se encuentran relacionadas con aleaciones, aceros, cromado, platinado, curtiembres, etc. (Likmyeleh-Deriso, 2014; Tejada-Tovar, 2015; Gómez, 2019). Adicionalmente, este metal se encuentra catalogado como uno de los trece metales tóxicos de mayor preocupación según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2011) y Wang & Chen (2009); debido a que, a elevadas concentraciones no es biodegradable, tiende a bioacumularse en organismos vivos; también, puede ocasionar úlceras estomacales, problemas respiratorios, entre otros efectos. En cuanto a las técnicas de tratamiento convencionales para removerlo en aguas residuales están precipitación química, electrodiálisis, ósmosis inversa, intercambio iónico, entre otras (Nishad-Fathima *et al.*, 2014).

Aunque dichas tecnologías convencionales han sido altamente eficientes, sus desventajas están relacionadas con una producción considerable de lodos, altos costos en cuanto a su mantenimiento, implementación y disposición de los desechos producidos. La biosorción se ha presentado como una técnica alternativa de tratamiento de aguas industriales; en esta, los sorbatos presentes en la matriz acuosa (iones metálicos) interactúan con el sistema o material sorbente (que puede ser biomasa o material biológico (-vivo, -no vivo) como, por ejemplo, residuos agrícolas, hongos, bacterias) (Wang y Chen, 2009; Tejada-Tovar *et al.*, 2015). Las COS dependerán del tipo de contaminante a remover, la concentración del sorbato, volumen de agua, temperatura, presión, agitación, pH, porosidad del material, tamaño de partícula, tiempo óptimo, modificación fisicoquímica del material sorbente (Leyva-Ramos, 2007; Rodríguez, 2014).

Debido a lo anterior, este trabajo surgió de la necesidad de contribuir a la formación ciudadana de futuros profesionales en formación inicial, avanzada o continuada en carreras afines a la Química; donde se aborda aspectos conceptuales y/o metodológicos inherentes a los MCI, particularmente, en técnicas analíticas instrumentales como la EAA-llama. Lo anterior, dado los requerimientos que buscan los empleadores a la hora de reclutar personal en diversos contextos (-industriales, -académicos, -científico-investigativos) en términos de conocimientos teórico-prácticos como habilidades laborales. Asimismo, aún hasta la fecha, según la revisión de literatura realizada, no se han reportado propuestas de enseñanza en el marco de la QAI en temas como el mencionado y el fortalecimiento de habilidades como PI.

Por otro lado, desde este trabajo se buscó exponer los hallazgos divulgados en la literatura sobre la valorización de residuos provenientes de la actividad de curtiembres (virutas WB); esto, al ser aprovechadas como materiales sorbentes de especies crómicas presentes en aguas residuales (sintéticas y/o reales). Puesto que aún no se ha consolidado los reportes derivados de investigación en trabajos académicos en cuanto a las COS de dichos residuos colagénicos; que pueda ser de ayuda para industrias que deseen utilizarlos en el proceso de descontaminación de las aguas residuales

generadas de sus procesos que contienen Cr; o grupos/líneas de investigación interesados en seguir indagando frente a este tipo de temas.

Todo esto, hacia el cumplimiento de instrumentos legales en materia ambiental y sanitaria que en el caso de Colombia se encuentran por ejemplo en la Resolución 0631 de 2015 “Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones”; asimismo, recolección, tratamiento, procesamiento y aprovechamiento de residuos sólidos –Decreto 2811/1974, Ley 9/1979, Decreto 1713/2002, entre otros) (Ramírez, 2014), así como la Estrategia Nacional de Economía Circular (Gobierno de la Republica de Colombia, 2019).

Adicionalmente, presentar la EM como una metódica alternativa en análisis químico instrumental de matrices analíticas que contienen interferentes químicos (para el caso de la presente investigación de naturaleza metálica) que pueda ser de ayuda para los futuros profesionales en contextos académicos, productivos y/o científico-investigativos dado que hay poca literatura en cuanto a la cuantificación de metales como el Cr por EAA-llama empleando dicha metodología.

Frente al contexto mencionado, la presente investigación tuvo como objetivo principal evaluar el fortalecimiento de la habilidad de proceso *-PI-* en un grupo de estudiantes universitarios de una carrera afín a la Química –profesores en formación inicial del PLQ-UPN (Programa de Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional)-; lo anterior, al implementar, a modo de pilotaje, una propuesta de enseñanza (PE) usando el método POGIL.

La PE diseñada abordó aspectos conceptuales y metodológicos sobre algunos MCI en EAA-llama (métodos estándar y de EM) acompañada de un TLV sobre un proceso de biosorción de Cr con virutas del WB. Dichos aspectos estuvieron relacionados con:

- a) Las condiciones estándar sugeridas por proveedores de espectrofotómetros de absorción atómica (que para el caso de la presente investigación tomo Perkin-Elmer); tales como longitud de onda analítica, slit, tipo de llama, rango lineal, characteristic concentration check (CCC), posibles interferencias analíticas.
- b) La metodología analítica para realizar las metodicas estándar y EM: preparación de disoluciones patrón y estándares de calibración (con y sin equiparación), factores de dilución, unidades de concentración (mg/L), uso de la EM y diferencias con el método estándar.
- c) Construcción y selección de CC a partir de los valores obtenidos por dichas metodologías; con apoyo de la hoja de cálculo de Excel y el coeficiente de determinación R^2 .
- d) Determinación de atributos o parámetros extraíbles a partir de datos de una CC seleccionada: rango lineal, LOD, LOQ, intervalo útil de trabajo y sensibilidad analítica.

En primera instancia, la pregunta problema de investigación formulada fue: *¿Se fortalecerá la habilidad de proceso -PI- en un grupo de estudiantes universitarios de una carrera afín a la Química –profesores en formación inicial del PLQ-UPN- al implementar, a modo de pilotaje, una PE usando el método POGIL sobre algunos MCI en EAA-llama (métodos estándar y EM) acompañada de un TLV sobre un proceso de biosorción de Cr con virutas del WB?*

En cuanto al diseño metodológico de la investigación se estructuró de correspondencia con los tres objetivos específicos formulados, donde:

1. La investigación fue de tipo mixto o híbrido, de alcance exploratorio-descriptivo, siguiendo el diseño explicativo secuencial (DEXPLIS) (Hernández-Sampieri *et al.*, 2014).
2. Las fases metodológicas planteadas fueron tres: (a) estandarización del proceso de biosorción de Cr con virutas WB a partir de una revisión documental 2000 – 2021; (b)

diseño e implementación, a modo de pilotaje, de la PE; (c) análisis del fortalecimiento de la habilidad de proceso PI.

3. La delimitación geográfica y temporal, así como los participantes de la investigación, refirió: (a) la revisión documental se hizo en el periodo de tiempo 2000 a 2021; esto a nivel local, nacional e internacional con fines de estandarizar el proceso de biosorción de Cr con virutas WB en términos de COS; (b) la implementación de la PE contó con la participación de nueve estudiantes del PLQ-UPN, Bogotá D.C., periodo 2021-II (en época de pandemia ocasionada por la COVID-19; intervenciones sincrónicas-virtuales con apoyo de TIC); (3) al análisis del fortalecimiento de la habilidad de proceso PI.

Respecto a las fases metodológicas mencionadas en términos generales, involucraron la ejecución de actividades relacionadas con:

1. La búsqueda y consolidación de palabras claves y/o tesauros, en idiomas español e inglés, utilizados para la formulación de ecuaciones de búsqueda; estas últimas, empleadas para realizar la revisión documental enunciada anteriormente.
2. El diseño y estructuración de una prueba de conocimientos/habilidad PI, con el fin de analizar el fortalecimiento de dicha habilidad antes y después de la implementación de la PE. Asimismo, el diseño de dos actividades POGIL que abordaron los aspectos conceptuales y metodológicos expuestos anteriormente; así como un TLV –simulador- vinculado con la biosorción de Cr con virutas WB.
Todo lo anterior, teniendo presentes algunos aportes de los referentes encontrados y seleccionados en los antecedentes (-pedagógicos y didácticos; -disciplinares) así como el marco conceptual estructurado.
3. Un proceso de validación de los instrumentos diseñados y estructurados a través de un juicio de expertos (siete profesores de Química de formación avanzada (Magíster)).

Con relación a la información recolectada y análisis posterior, el investigador se apoyó en el software NVivo 12 Plus para configurar las categorías iniciales de análisis que en el lenguaje del Programa son los nodos; donde:

1. Acerca los productos investigativos encontrados en la literatura según la revisión documental realizada, se hizo un análisis de contenido, cuyas categorías principales (nodos) fueron **las COS de Cr** (concentración del contaminante, tipo de agua residual, pH, modificación fisicoquímica, tamaño de partícula, agitación, temperatura, tiempo de contacto, % eficiencia). En complemento, **los modelos de isothermas, cinéticas de adsorción, y explicación del bioproceso** (mecanismos de adsorción); **proceso de desorción y ciclos de reúso** (agentes desorbentes, %desorción, ciclos de reúso); finalmente, se expresaron algunas limitaciones, vacíos y futuras investigaciones.
2. Se analizó las actividades escritas entregadas por los participantes (de forma individual y en equipos de trabajo); donde se evaluaron los aspectos conceptuales y/o metodológicos de la PE, así como el fortalecimiento de la habilidad PI (antes y después de la implementación). Para el caso de la habilidad PI se realizó alrededor de las categorías que la conforman (evaluar, interpretar, manipular o transformar), haciendo uso de una rúbrica evaluativa/retroalimentación (ELIPSS, 2017); con respecto a las actividades (compuestas de modelos –en términos del lenguaje POGIL- que envuelve el uso de preguntas, mini-lecturas, cálculos) se sistematizaron los mismos con ayuda del software para obtener nubes y árboles de palabras; donde estas fueron descritas según los hallazgos encontrados.

Finalmente, el documento se compone de los siguientes apartados en términos generales de:

- (1) Los antecedentes Pedagógicos y Didácticos (PyD), así como los antecedentes disciplinares. En este apartado se consolidaron las investigaciones relacionadas con el tema objeto de la presente investigación, según el objetivo principal señalado.
Inicialmente, se expone un panorama general acerca de las menciones y/o investigaciones alrededor de las habilidades de proceso, el método POGIL y la Química; así mismo, en lo tocante a la EAA-llama y los MCI enunciados. Por último, lo referente a la biosorción de Cr en aguas residuales empleando las virutas WB. Todo lo anterior, ilustrado con mapas bibliométricos elaborados con el software VOSviewer 1.6.18.
Luego, se muestran las investigaciones (artículos, trabajos académicos) encontradas y seleccionadas debido a sus aportes conceptuales y/o metodológicos a la presente investigación.
- (2) La delimitación, descripción y formulación del problema: sección en la que se expone el contexto de la investigación, su importancia, que involucra, y finalmente la pregunta de investigación.
- (3) La justificación: apartado que muestra la importancia de la investigación, sus aportes teóricos, metodológicos, y prácticos, así como la novedad de esta.
- (4) El objetivo general y objetivos específicos formulados para la presente investigación acorde a la pregunta de investigación planteada.
- (5) El marco conceptual (MC) dividido en dos aspectos: MC Pedagógico y Didáctico, MC disciplinar; donde se exponen algunos planteamientos alrededor del método POGIL, las habilidades de proceso, la habilidad PI, el modelo de PI, algunas sugerencias metodológicas en cuanto a la implementación del método POGIL. Por otro lado, lo concerniente a los residuos colágenicos de las curtiembres: las virutas del WB, el Cr, bioadsorción y sus COS, EAA, calibración instrumental, método estándar y EM, CC, rango lineal, rango útil de trabajo, LOD, LOQ, sensibilidad analítica.
- (6) La metodología: en este apartado se expone el tipo de paradigma investigativo, alcance de la investigación, diseño, delimitación geográfica y temporal, participantes, fases de la investigación, técnicas de recolección de la información y criterios de análisis de los resultados.
- (7) Resultados y discusión: en esta sección se reportan los hallazgos de la investigación, referente a la estandarización del proceso de biosorción de Cr con virutas WB a partir de una revisión documental 2000-2021; tratamiento de los datos obtenidos en las metodologías estándar y EM en la cuantificación de Cr en aguas residuales –sin y con presencia de Zn, Cu–; finalmente, la implementación, a modo de pilotaje, de la PE y análisis del fortalecimiento de la habilidad PI.
- (8) Por último, las conclusiones redactadas que responden a la pregunta de investigación formulada, a los objetivos planteados. Lo anterior, en concordancia con la metodología y hallazgos encontrados.
- (9) Finalmente, el investigador expresó algunas recomendaciones, limitaciones y futuras investigaciones relacionadas con el objeto de investigación abordado.

2. Antecedentes.

Para la consolidación de los antecedentes de la presente investigación, se llevó a cabo una revisión documental; esto, a nivel local, regional, nacional e internacional sobre artículos, trabajos de pregrado, tesis de grado de maestría/doctorado y patentes, entre otros. Lo anterior, en el periodo de años 2000 hasta 2021 desde la consulta en revistas disciplinares/enseñanza de las ciencias o didáctica de las ciencias (Rodríguez-Hernández, 2017), bases de datos, repositorios institucionales que estuvieron al alcance del investigador.

La construcción de este apartado comprende los **antecedentes pedagógicos y didácticos (PyD)** como los **antecedentes disciplinares**; para los *primeros*, giraron alrededor de la indagación sobre propuestas de enseñanza dirigidas a estudiantes de programas de formación académica inicial o avanzada afines a la Química, que traten aspectos conceptuales y/o metodológicos inherentes a las MCI en EAA con atomización de llama (métodos estándar y de EM); así como el fortalecimiento de habilidades de proceso como es el caso de la habilidad PI empleando el método POGIL.

Con respecto a los *segundos*, conciernen a los trabajos investigativos relacionados con la biosorción de Cr en aguas residuales (sean matrices reales y/o sintéticas) empleando las virutas del WB.

Antes de presentar los productos investigativos encontrados y seleccionados para la investigación, a continuación, se presenta un panorama general, representada desde una red bibliométrica, en términos de la co-ocurrencia de palabras relacionada con los aspectos anteriormente mencionados. Esto se realizó, en primer lugar, extrayendo los metadatos de una base de datos –en este caso Scopus-, resultado de la indagación con el uso de palabras claves y/o tesauros en idioma inglés. Se empleó el software libre VOSviewer 1.6.18 para tal fin (las características y manual de uso pueden ser consultadas en la página oficial en <https://www.vosviewer.com/>).

2.1. Panorama general de las menciones y/o investigaciones alrededor de habilidades de proceso, el método POGIL y la Química.

En la Figura 1, se observan las palabras de mayor mención (nodos circulares de color) con respecto a la indagación preliminar en términos generales acerca de las habilidades de proceso, el método POGIL y la Química. En el mapa obtenido a partir de la información bibliográfica extraída (metadatos), en este caso de Scopus, se observan una serie de relaciones que se establecen entre los términos que se presentan allí.

La interpretación según el tamaño del nodo ofrece una aproximación hacia la mención del término por parte de los investigadores-autores de los trabajos encontrados; asimismo, la cercanía con otros nodos refiere a la estrecha relación que se presentan entre los mismos (Van-Eck y Waltman, 2022). Es así que, se observan nodos y sus relaciones referidos a (de mayor a menor aparición): estudiantes, Química orgánica, fisicoquímica, enseñanza, el aprendizaje activo/centrado en el estudiante, el aprendizaje basado en la indagación, POGIL, enfoque pedagógico/proceso orientado, habilidades de proceso (trabajo en equipo, comunicación, resolución de problemas), Química (bioquímica, fisicoquímica, química general), habilidades de resolución de problemas, high school, estudiantes de segundo año; asimismo, Química analítica, investigaciones en educación Química y estudiantes de formación superior (upper-division undergraduate).

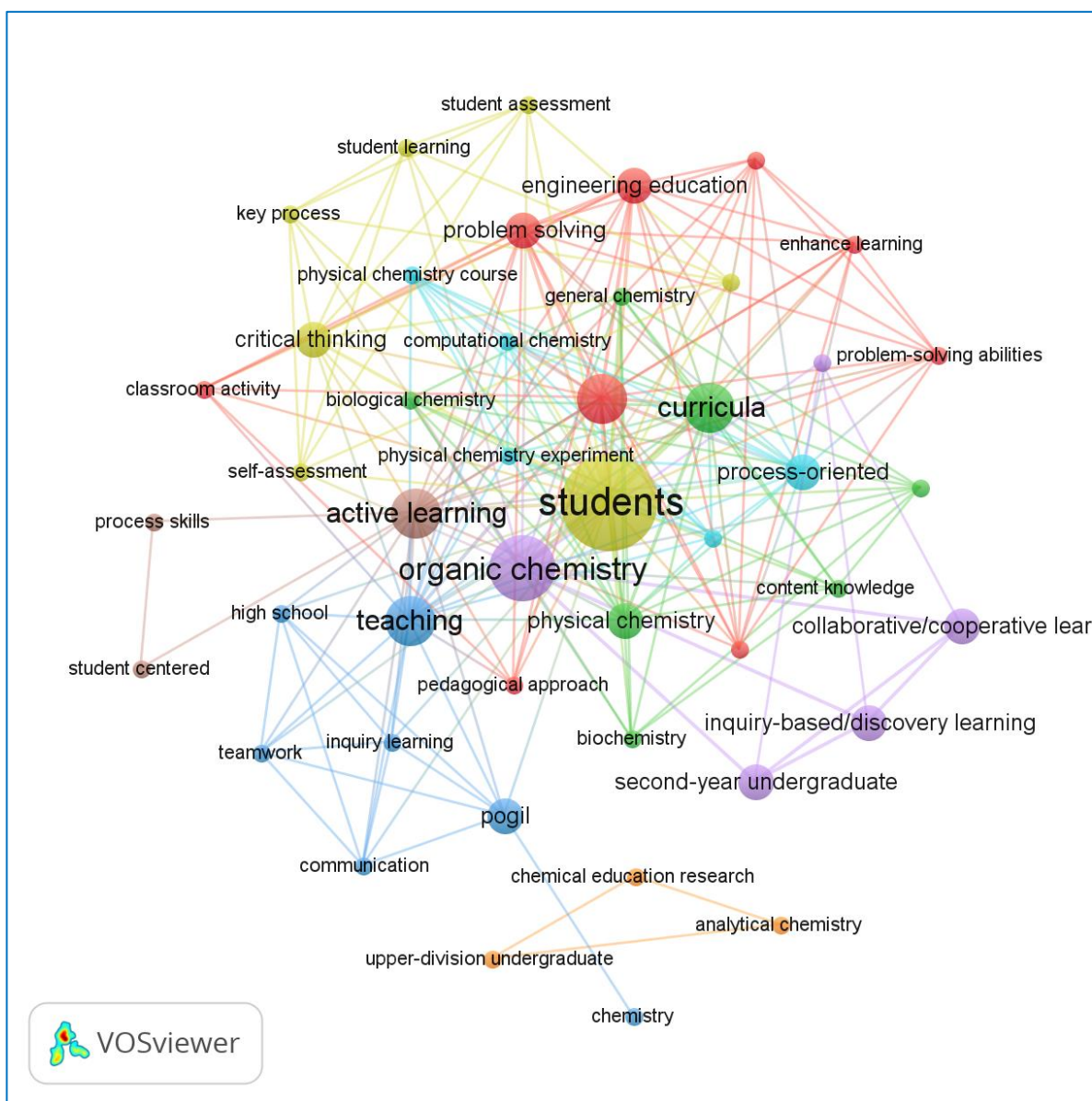


Figura 1. Mapa de co-ocurrencia de términos de la búsqueda “POGIL” AND (“*process skill*” OR “*Information Processing*” OR “*Processing Information*”) AND “*Chemistry*”.

Fuente: elaborado con VOSviewer 1.6.18 a partir de los metadatos extraídos de Scopus en el periodo de 2000-2021.

Como bien se observa en la Figura 1, las investigaciones encontradas se relacionan con hallazgos sobre la implementación del método POGIL en la enseñanza, por ejemplo, de la Química orgánica, Fisicoquímica, con estudiantes universitarios; lo anterior, involucrando las habilidades de proceso tales como la comunicación y el trabajo en equipo. Por otro lado, el tamaño del nodo asociado a las investigaciones en QAI empleando el POGIL se podría decir son bajas; aspecto contrastado según las revisiones sistemáticas realizadas en este aspecto (Reynders *et al.*, 2019; Rodríguez *et al.*, 2020; Esteban-Muñoz y Gómez-Aguilar, 2021).

Los trabajos publicados alrededor del aspecto tocante refieren a propuestas metodológicas empleando actividades basadas en el POGIL para la enseñanza de temas en las ciencias de la salud, Química orgánica, fisicoquímica, sin dejar de lado el fortalecimiento de algunas habilidades de proceso (resolución de problemas, trabajo en equipo) (Garoutte, 2008; Brown, 2010). Por otro lado, se resaltan las oportunidades de emplear el POGIL –metodología de aprendizaje centrada en el estudiante- en cursos universitarios de carreras afines a la Química, exaltando el fortalecimiento y/o desarrollo de habilidades como trabajo colaborativo, resolución de problemas, comunicación/explicación de las ideas y el pensamiento crítico (Straumanis y Simons, 2008; Hein, 2012).

En el trabajo de Schmidt-McCormack *et al.* (2019) reportaron la consolidación de un proyecto denominado como ANA-POGIL (*Analytical Process Oriented Guided Inquiry Learning*, por sus siglas en inglés); el cual refiere a la implementación del POGIL en cursos de QAI el desarrollo de algunas habilidades de proceso debido a bajas investigaciones relacionadas con este aspecto en dicha área de la Química (Rodríguez *et al.*, 2020). En el proyecto mencionado, los autores expusieron los resultados de la aplicación de material educativo basado en el método POGIL para la enseñanza de componentes conceptuales y/o metodológicos de la Química analítica (QA), cromatografía, electroquímica, espectroscopia y estadística; mostrando el desarrollo de habilidades como el PI, pensamiento crítico y resolución de problemas. Lo anterior, en un grupo de estudiantes universitarios vinculados a un curso de QA (Schmidt-McCormack *et al.*, 2019).

2.2. Panorama general de las menciones y/o investigaciones alrededor de la enseñanza de la EAA-llama y métodos de calibración instrumental (método estándar y EM).

Ahora bien, en la Figura 2 se observan las palabras de mayor mención con respecto a la indagación preliminar en términos generales acerca de la EAA y su enseñanza. En esta, se muestran los nodos y las relaciones establecidas entre estos, concernientes a (de mayor a menor aparición): EAA, aprendizaje (práctico/manipulativo), instrucción en el laboratorio, QA, análisis instrumental, monitoreo ambiental, contaminación del agua, contaminantes del agua (metales pesados), geoquímica (minerales).

Los trabajos investigativos divulgados, y que se relacionan con los términos anteriormente mencionados, conciernen a: Fahey y Tyson (2006) dan cuenta del conocimiento en QA y las habilidades instrumentales que los empleadores de industrias manufactureras y de servicios piensan que sus empleados deberían tener; esto, genera un cambio continuo en el currículo con respecto a los aspectos teóricos y/o metodológicos que deberían abordarse particularmente en la enseñanza de la QA en la formación de futuros profesionales (temas relacionados con las técnicas analíticas instrumentales como la EAA-llama, cromatografía (de gases-GC-, líquida –HPLC-), métodos electroquímicos, entre otros).

En este sentido, algunas propuestas de enseñanza en EAA se formularon; estas involucran el uso de situaciones inherentes a la Química ambiental –en este caso, contaminación por metales pesados como el Pb y el As- con el fin de, además de contextualizar los contenidos abordados sobre la técnica mencionada, se fortalecieran las habilidades manipulativas, comunicación oral y escrita, trabajo en equipo (Amarasiriwardena, 2007). Asimismo, Garrison *et al.* (2013) expusieron una estrategia de enseñanza en EAA que involucra el tratamiento de aguas residuales contaminadas con Cu(II), empleando biomásas de semillas, almejas y setas; en esta se buscaba que el grupo de estudiantes planearan un método de análisis, y que posteriormente lo ejecutarán. Esto involucraba muestreo de las biomásas, tratamiento a las muestras, elaboración de CC, lecturas en el equipo y el fortalecimiento de habilidades manipulativas.

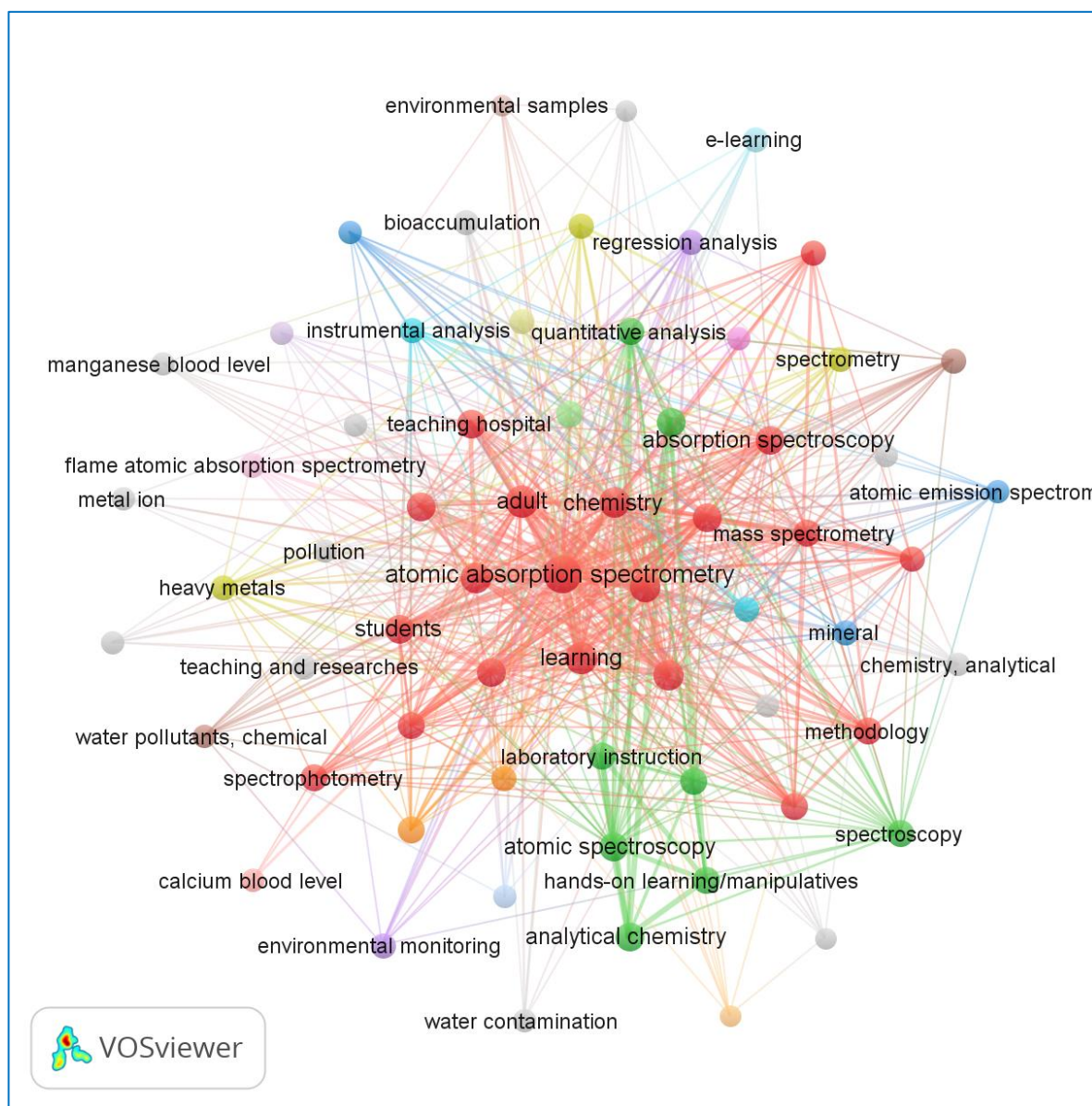


Figura 2. Mapa de co-ocurrencia de términos de la búsqueda ("*spectroscopy*" OR "*spectrophotometry*" OR "*spectrometry*") AND ("*Atomic Absorption*") AND ("*teaching*" OR "*learning*").

Fuente: elaborado con VOSviewer 1.6.18 a partir de los metadatos extraídos de Scopus en el periodo de 2000-2021.

En complemento, Finch *et al.* (2015) expusieron los hallazgos relacionados con una estrategia didáctica para estudiantes de formación avanzada en Química que involucra el análisis químico instrumental de metales pesados (Pb, Cd y As) en juguetes y joyas para niños. Esto, envolvió módulos basados en proyectos del laboratorio que involucraron aspectos conceptuales y procedimentales referentes a la preparación de las muestras, ley de Lambert-Beer-Bouger, CC y la metodología de adición estándar; todo lo anterior, con la técnica de EAA con atomización de llama y horno de grafito.

Asimismo, White *et al.* (2020) ilustraron una lección de indagación guiada dirigida a estudiantes de carreras afines a la Química, la cual envolvió la determinación en la eficiencia de remoción de Pb(II) en matrices de agua potable de grifo al emplear un filtro casero. Lo anterior, mediante el uso de la EAA con horno de grafito. Tal actividad, involucraba que los educandos construyeran sus propias CC empleando las MCI tradicional y de adición estándar; con el fin de que, los estudiantes relacionarán el fundamento de la técnica y el uso del equipo, así como los cálculos asociados, comprensión en el propósito de realizar la calibración, en particular, adición estándar. Finalmente, promover habilidades en cuanto a la redacción de informes de laboratorio.

En este sentido, Yan y Wei (2021) expusieron los resultados de la implementación de una simulación virtual para la enseñanza de EAA la cual involucraba un proyecto basado en una situación sobre la determinación de Ca(II) en agua potable; que envolvió algunos factores que afectan la estabilidad de la técnica (el tipo de flama, slit, línea de resonancia analítica, modulación de la corriente de la lámpara de cátodo hueco, calidad del sistema atomizador, posición del quemador).

Finalmente, Calderón-Mendoza *et al.* (2021) mostraron el desarrollo y la aplicación de un simulador en hojas de cálculo Excel dirigido a enseñar la técnica de EAA y Espectrofotometría de Emisión Atómica para estudiantes de cursos en QAI; herramienta que incorporó diversos procedimientos analíticos tales como el análisis de matrices farmacéuticas, ambientales y forenses. Adicionalmente, los autores buscaban que los estudiantes pudieran modificar las condiciones instrumentales (tales como el tipo y el flujo del gas, la longitud de onda analítica y la lámpara); también, envolvió preparación de reactivos, disoluciones patrón y matrices, la obtención de señales analíticas y el tratamiento posterior a los datos obtenidos, con el fin de afianzar conceptos, funcionamiento del equipo y aplicaciones de algunas técnicas espectroscópicas.

Por último, Esteban-Muñoz *et al.* (2020) expusieron en su revisión documental (trabajos de pregrado, tesis de maestría/doctorado, artículos) algunas propuestas didácticas formuladas para la enseñanza de la EAA-llama en Educación superior dirigidas a estudiantes de carreras afines a la Química; estas comprendieron el uso de laboratorios virtuales, mini-proyectos que buscaban fortalecer el pensamiento crítico, la resolución de problemas, competencias básicas y procedimentales y la toma de decisiones; así como fundamentos teóricos y destreza sobre algunos atributos de validación, metodología analítica.

2.3. Panorama general de las menciones y/o investigaciones alrededor de la biosorción de Cr en aguas residuales empleando las virutas del WB.

Por otro lado, en la Figura 3 se observan las palabras de mayor mención con respecto a la indagación preliminar en términos generales acerca de la biosorción de Cr en aguas residuales empleando las virutas del WB. Aquí, se muestran los nodos y las relaciones establecidas entre estos concernientes a (de mayor a menor aparición): adsorción (carbón activado), curtido (cuero curtido al cromo), cromo (Cr^{3+} , Cr^{6+} , iones metálicos), soluciones acuosas (ensayos de laboratorio, estudios experimentales, aguas reales), tratamiento de aguas residuales, virutas cromadas (adsorbentes, virutas de cuero curtido al cromo), industria de curtiembres (pieles, residuos sólidos), materiales tóxicos (reusabilidad), protección ambiental (desarrollo sostenible, manejo ambiental, salud pública, salud ambiental).

las virutas cromadas como material biosorbente encontrándose un 96% de eficiencia. Por otro lado, Kantarli y Yanik (2010) reportaron los hallazgos de la aplicación de residuos sólidos derivados de la actividad de tenerías (virutas del curtido al cromo y con taninos) empleados como materias primas para la preparación de carbones activados modificados fisicoquímicamente; estos, se utilizaron en matrices acuosas sintéticas para la biosorción de azul de metileno, fenoles y Cr(VI). Asimismo, Xu y Hao (2011a) dieron cuenta de la viabilidad de utilizar las rebajaduras cromadas como un potencial sorbente de iones Cr(III) en aguas residuales, indicando que cada gramo del biomaterial adsorbe 8,42mg de dicha especie iónica.

En complemento, Xu y Hao (2011b) mostraron los resultados de la desintoxicación de las virutas del WB al extraer, en primer lugar, el cromo adherido al material; posteriormente, la rebajadura “descurtida” obtenida se evaluó la eficiencia en remoción de Cr(III). Los autores encontraron que a pH ácidos cada gramo del biomaterial adsorbe 39,4 mg de dicha especie iónica. En este sentido, Chabaane *et al.* (2011) expresaron que la viruta cromada modificada químicamente con la inmovilización superficial de taninos vegetales (mimosa y extracto de castaño) mejoraron la bioadsorción de Cr(VI) en aguas sintéticas, hallándose capacidades de sorción del contaminante en el intervalo de 38 mg/g a 42 mg/g. Finalmente, Sun *et al.* (2021) modificaron fisicoquímicamente las rebajaduras cromadas como carbón activado en presencia de KOH; aplicando el biomaterial en aguas sintéticas para sorber Cr(VI) encontraron una capacidad de adsorción de 540,54 mg/g.

De acuerdo con los panoramas generales abordados desde los numerales 2.1 a 2.3 en cuanto a las investigaciones relacionadas con el objeto de estudio del presente trabajo, y después de una indagación más profunda bajo la delimitación espacio-temporal señalada, el investigador expresa las siguientes consideraciones:

- (1) Aún no se han divulgado y/o reportado trabajos investigativos relacionados con propuestas o materiales para la enseñanza de aspectos conceptuales y/o metodológicos de los MCI en EAA-llama (métodos estándar y EM); lo anterior, usando el método POGIL, así como TLV que vinculen el aprovechamiento de materiales derivados de la actividad industrial de las curtiembres (virutas del WB) para remover Cr de aguas residuales como una situación aplicativa y contextualizada. Todo lo anterior, hacia el fortalecimiento de habilidades de proceso, en este caso, PI. Adicionalmente, mencionar que el material educativo que ha sido elaborado y validado por equipos de investigadores como el POGIL y ELIPSS aún no ha comenzado a implementarse en diversos niveles educativos y campos del conocimiento, como el caso de la QA. Asimismo en programas de formación académica técnica, tecnológica, inicial (pregrado), continuada (posgrados) y avanzada (doctorados/postdoctorado), profundización (diplomados, especializaciones). Todo lo anterior, particularmente en Colombia.
- (2) Las investigaciones en cuanto al uso del POGIL particularmente en programas de formación académica afines a la QA paulatinamente se han ido consolidando. Aunque uno de los pilares que caracterizan el POGIL es la promoción de importantes habilidades de proceso, aún hay vacíos en este aspecto tal como lo hacen saber algunas revisiones sistemáticas de literatura en ramas de la Química como la indicada (Reynders *et al.*, 2019; Rodríguez *et al.*, 2020; Esteban-Muñoz y Gómez-Aguilar, 2021).
- (3) Paulatinamente se han ido estructurando propuestas y/o estrategias didácticas para la enseñanza de conceptos o la metodología relacionados con la técnica instrumental de EAA (con atomización de llama y horno de grafito). Estas envuelven el uso de: situaciones ambientales (por ejemplo, la contaminación del agua, metales pesados, adsorción con residuos agrícolas), objetos de uso recreativo y/o personal (juguetes, joyas), etc.; lo anterior, como componente aplicativo y que articula la calibración de la técnica, el tratamiento a la matriz analítica, elaboración de CC, monitoreo de posibles interferencias en el análisis químico instrumental, funcionamiento del equipo, entre otras.

- (4) Se han divulgado poco a poco investigaciones relacionadas con el uso de las virutas del WB para la remoción de Cr presente en aguas residuales. En estas se muestran la potencial aplicación de dichos residuos sólidos colagénicos para tratar efluentes acuosos contaminados con iones metálicos de Cr. Sin embargo, hasta la fecha aún no se ha consolidado en alguna revisión sistemática o trabajo investigativo dichos productos; lo anterior, para que se convierta en una guía para futuras investigaciones relacionadas con el uso de este tipo de materiales con gran viabilidad en cuanto a su uso en aguas residuales reales (tipo industrial), y que ayuden hacia la reducción y/o mitigación de situaciones ambientales en las que se ven envueltas actividades que emplean dicho metal en sus procesos (como por ejemplo la industria de las curtiembres, galvanoplastia, cromados, colorantes, entre otras) (Nishad-Fathima *et al.*, 2014).

En concordancia con las consideraciones señaladas anteriormente, en las siguientes secciones se expusieron los antecedentes PyD, así como los antecedentes disciplinares encontrados, seleccionados y que estuvieron al alcance del investigador. La elección de los mismos, se debió a la relación con el tema objeto de la presente investigación, contribución desde los puntos de vista teórico/conceptuales y/o metodológicos como: (1) estructuración del MC (referentes pedagógicos y didácticos, como referentes disciplinares); (2) diseño e implementación de la PE (elaboración de los instrumentos como del material didáctico, proceso de validación de los mismos); (3) estandarización del proceso de biosorción de Cr usando las virutas del WB desde la revisión documental, (4) análisis de los resultados (información cualitativa –categorías e indicadores de la habilidad de proceso objeto de investigación- y datos cuantitativos –MCI-).

2.4. Antecedentes PyD.

En la Tabla 1 se especificaron las fuentes de información consultadas, los criterios de búsqueda empleados, así como el número de productos investigativos revisados y seleccionados para la consolidación del presente sub-apartado.

Tabla 1. Fuentes de información indagadas, criterios de búsqueda y productos investigativos revisados y seleccionados para la consolidación de los antecedentes PyD.

*Criterios de búsqueda –palabras claves/tesauros (idiomas inglés y español): Habilidades de proceso, procesamiento de información, modelo/método/estrategia POGIL (Process Oriented Guided Inquiry Learning), espectrofotometría/espectroscopia/espectrometría (de *absorción atómica) de llama, flama, Cromo (Cr), métodos de calibración instrumental, método estándar, método de equiparación de matriz, Química analítica instrumental, análisis químico instrumental, análisis instrumental, química analítica, propuesta de enseñanza, actividades POGIL, Química.			
*Periodo de tiempo indagado: 2000 hasta 2021.			
Tipo de productos investigativos/Fuente consultada		R	S
Bases de datos	TED: Tecné, Episteme y Didaxis	1	0
-Scopus, Web Of	Journal of Chemical Education	49	1
Science, Redalyc,	Revista de Educación	0	0
Scielo, Dialnet,	Revista Electrónica de Investigación y Evaluación Educativa	0	0
Lens, EBSCO,	(RELIEVE)		
ERIC, Pubmed,	Revista de Educación a Distancia (RED) Educación y Aprendizaje	0	0
Google Scholar,	en la Sociedad del Conocimiento		
Science Direct-,	Revista Uni-Pluri/versidad	0	0
revistas; artículos	Revista Docencia Universitaria	0	0

	Revista Nodos y nudos	0	0
	Revista Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias	1	0
	Revista Luna Azul	5	0
	Revista Latinoamericana de Estudios Educativos	0	0
	Ciência & Educação	0	0
	ComCiência	0	0
	Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias	0	0
	Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências	0	0
	Revista Educación en Química	10	0
	Investigações em Ensino de Ciências	0	0
	International Journal of Science Education	30	0
	International Journal of STEM Education	1	1
	Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa	0	0
	Revista Química Nova na Escola (QNEsc)	0	0
	Studies in Higher Education	1	0
	Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias	0	0
	Research in Science & Technological Education	1	0
	Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad-CTS	0	0
	Science & Education	0	0
	Electronic Journal for Research in Science & Mathematics Education	63	0
	Revista Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales	0	0
Repositorios institucionales -Trabajos de pregrado, Tesis de grado de maestría, Tesis de doctorado, patentes-	Universidad Nacional de Colombia	2	0
	Universidad Distrital Francisco José de Caldas (UDFJC)	0	0
	Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC)	0	0
	Universidad Pedagógica Nacional (UPN)	3	0
	Universidad de Educación Nacional a Distancia (UNED)	1	0
	Universidad de Alicante	1	1
	Bindura University of Science Education	1	0
	University of Iowa	1	1
	Universidad Autónoma de Bucaramanga	1	0
	Universidad de San Carlos de Guatemala	1	0
Página Web oficial Proyecto ELIPSS	Rúbrica de evaluación y feedback habilidades de proceso/implementación	1	1
Página Web oficial Proyecto POGIL	Lineamientos para la elaboración de material POGIL/implementación/evaluación del material POGIL	1	1
Totales		174	6

Fuente: Autor.

De 174 productos investigativos de la revisión documental realizada se seleccionaron seis; entre estos se encontraron artículos, trabajos de grado, y páginas web (donde se aloja material construido y validado por la comunidad investigativa del POGIL). A continuación, se presentan de forma resumida:

El Equipo Enhancing Learning by Improving Process Skills in STEM (ELIPSS, 2017a) en el marco de un proyecto estructurado para la identificación, desarrollo, evaluación y retroalimentación de habilidades de proceso construyeron y validaron una serie de rúbricas junto con una guía de implementación. Dicho material se encuentra alojado en su página web oficial para ser utilizado en instituciones educativas como aporte a la praxis educativa. Este se encuentra hasta el momento para ocho habilidades (pensamiento crítico, trabajo en equipo, comunicación oral/escrita, PI, resolución de problemas, comunicación interpersonal, metacognición, gestión). Es importante mencionar que este material -estructurado y validado- es desconocido hoy en día por los maestros en formación inicial, continuada y avanzada, así como los que se encuentran en su práctica profesional docente; lo cual permea la posibilidad de conocer la potencialidad de los mismos en cuanto a su aplicación en la formación de los educandos de diversos niveles educativos, y aún más, en la promoción de importantes habilidades transferibles que son bastantes requeridas por los empleadores.

En este sentido, en la página web POGIL Activity Clearinghouse (PAC, 2021) y del proyecto POGIL (2021a) los equipos investigadores brindaron una serie de pautas para la elaboración e implementación de material POGIL; así como rúbricas para evaluar el material diseñado, bajo las categorías de: ciclo de aprendizaje, habilidades de proceso, actividades de aplicación, y prueba en el aula de clases; éstas, pueden ser empleadas en equipos colaborativos de facilitadores y/o investigadores con el fin de retroalimentar las actividades y posteriormente ajustarlas.

En adición, Lantz y Colé (2014), junto con su equipo investigador, en el marco del proyecto ANA-POGIL elaboraron, validaron y compilaron en su libro titulado “Analytical Chemistry: A Guided Inquiry Approach Instrumental Analysis Collection” más de 20 actividades POGIL sobre algunos temas de QA como: preparación de la muestra, calibración instrumental (método de adición estándar, metodología de patrón interno), aseguramiento de la calidad, comparaciones interlaboratorios, regresión lineal, estadística; también, electroquímica, espectroscopia (ley de Beer-Lambert, procesos de absorción atómica y molecular, espectroscopia infrarroja, espectrometría de masas), cromatografía. En esta obra no se contempló las técnicas analíticas de espectrofotometría infrarroja con transformada de Fourier (FTIR), resonancia magnética nuclear (NMR) y técnicas superficiales. Para efectos de la aplicación en cursos de QA en tiempos de 50 a 75 minutos se enunciaron los objetivos de aprendizaje -en términos del contenido y las habilidades de proceso-, así como algunas lecturas sugeridas (bibliografía), preguntas de claves y por último la sección de ejercicios aplicativos.

En complemento, Schmidt-McCormack (2017) en su tesis doctoral titulada “Assessing Student Process Skills and Providing Feedback to Enhance Learning in Analytical Chemistry” expuso los hallazgos de la estructuración, validación e implementación de un material educativo realizado con colaboradores de los proyectos POGIL y ANA-POGIL. En este, se mostró una rúbrica que sirvió para evaluar y retroalimentar la habilidad de proceso “resolución de problemas” en cursos de laboratorio instrumental avanzado en distintas universidades. Otro objetivo planteado por la autora fue desarrollar preguntas abiertas sobre algunos temas de QA para evaluar algunas habilidades de proceso (pensamiento crítico, resolución de problemas y PI). La investigación se valió del uso de rúbricas de evaluación/feedback, entrevistas, análisis de contenido en los reportes escritos dados por los participantes, grabaciones de las sesiones.

Las conclusiones mostraron el fortalecimiento de las habilidades analizadas al emplear POGIL, el gran potencial de utilizar este tipo de rúbricas, teniendo presente que es necesario exponer a los educandos los resultados de aprendizaje esperados como lo que se les evaluará; también, ofrecer constante retroalimentación a los educandos durante su proceso de formación con el fin de fortalecer las habilidades. Adicionalmente, la autora resaltó la importancia la redacción de las preguntas en los exámenes para evaluar la habilidad de proceso articulada, pues los educandos podrían interpretar la tarea dada diferente a lo esperado por el facilitador.

Por otro lado, López-Bernabéu *et al.* (2018) expusieron en su artículo “Implementación y evaluación del método POGIL en la facultad de Ciencias” los hallazgos de la estructuración y posterior implementación de una propuesta de enseñanza basada en el método POGIL; esta, aplicada en cursos de Oceanografía Química, Operaciones básicas del laboratorio y Polímeros conductores. Se ilustran algunos aspectos metodológicos para el diseño de las actividades POGIL, los cuales están relacionados con el ciclo de aprendizaje –exploración, descubrimiento y aplicación del concepto-, actividades aplicativas que envuelven los trabajos prácticos de laboratorio. Adicionalmente, los autores mostraron a modo de ejemplo el material didáctico relacionado con los roles designados en los equipos de trabajo y formatos para la entrega de las actividades. Los resultados y conclusiones de la aplicación dieron cuenta de la promoción de habilidades como el trabajo en equipo, capacidad de análisis, comprensión y aplicación de los conceptos, comunicación oral/escrita. También, los alumnos indicaron buenas apreciaciones frente a la metodología empleada.

Adicionalmente, en el artículo “Rubrics to assess critical thinking and information processing in undergraduate STEM courses” de Reynders *et al.* (2020) mostraron el proceso de construcción y validación de dos rúbricas de evaluación/retroalimentación formativa para dos habilidades de proceso: *pensamiento crítico (PC)* y *PI*. Dicho material fue aplicado por participantes de diversas disciplinas STEM, tamaños de clases y niveles de formación e instituciones educativas. Los resultados y conclusiones expuestos por los autores mostraron que las rúbricas fueron efectivas para analizar y medir cada una de las habilidades mencionadas, bajo las categorías correspondientes según la definición operacional de las mismas (PC –evaluar, sintetizar, formación de un argumento-; PI –evaluar, interpretar y manipular o transformar-). Similarmente, resaltaron la importancia del alineamiento constructivo en el acto educativo en términos de los resultados de aprendizaje esperados por el facilitador, las actividades que deben desarrollar los educandos, la evaluación y el feedback.

2.5. Antecedentes Disciplinarios.

En la Tabla 2 se especificaron las fuentes de información consultadas, los criterios de búsqueda empleados, así como el número de productos investigativos revisados y seleccionados para la consolidación del presente sub-apartado.

Tabla 2. Fuentes de información indagadas, criterios de búsqueda y productos investigativos revisados y seleccionados para la consolidación de los antecedentes disciplinares.

***Criterios de búsqueda –palabras claves/tesauros (idiomas inglés y español):** *piel de animal, cuero, curtiembres, tenería, cromo, virutas (*del Wet Blue, cromadas, *del cuero curtido), rebajaduras (*del Wet blue, *cromadas, *del cuero curtido), viruta del rebajado, viruta del cromado, ripio de cromo, aglomerado de virutas, recortes en azul, biosorción, bioadsorción, sorción, desorción, remoción, tratamiento, agua residual, matriz acuosa residual, agua residual sintética, proceso batch, residuo sólido colagénico, residuos sólidos de curtiembres, agua de curtido. .*

***Periodo de tiempo indagado:** 2000 hasta 2021.

Tipo de productos investigativos/Fuente consultada	R	S
Biogas: Production, Applications and Global Developments	1	0
Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists	47	0
Journal of Residuals Science & Technology	1	1
Chemosphere	0	0
Journal of Environmental Chemical Engineering	0	0
MDPI: Materials/Processes/Molecules/Polymers	2	0

Bases de datos -Scopus, Web Of Science, Redalyc, Scielo, Dialnet, Lens, EBSCO, ERIC, Pubmed, Google Scholar, Science Direct- Google patents; revistas; artículos	Desalination And Water Treatment	2	1
	International Journal of Environment and Waste Management	0	0
	ACS Sustainable Chemistry and Engineering	0	0
	2011 International Symposium on Water Resource and Environmental Protection	2	2
	Journal of the American Leather Chemists Association	0	0
	Journal of Hazardous Materials	3	2
	Environmental Science and Pollution Research	9	0
	American Journal of Physical Chemistry	1	1
	Chemical Engineering Journal	1	1
	Advanced Materials Research	0	0
	Revista Ingenieria e Investigación	1	0
	Leather And Footwear Journal	0	0
	Materials Letters	1	0
	Journal Of Thermal Analysis and Calorimetry	1	0
	Asian Journal Of Chemistry	0	0
	Environmental Progress and Sustainable Energy	0	0
	Journal Of Molecular Liquids	2	0
	Journal Of Scientific and Industrial Research	2	0
	ACS Applied Materials and Interfaces	1	0
	Analytical and Bioanalytical Chemistry	0	0
	Chemical Engineering And Technology	1	0
	Colloids And Surfaces a Physicochemical and Engineering Aspects	0	0
Repositorios institucionales -Trabajos de pregrado, Tesis de grado de maestría, Tesis de doctorado, patentes-	Universidad Nacional de Colombia	1	0
	Universidad Distrital Francisco José de Caldas (UDFJC)	0	0
	Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC)	0	0
	Universidad Pedagógica Nacional (UPN)	0	0
	Universidad de Educación Nacional a Distancia (UNED)	0	0
	Universidad de Alicante	0	0
	Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)	0	0
	Universidad Autónoma de Bucaramanga	0	0
	Universidad de las Américas-Ecuador	1	1
Totales		80	9

De 80 productos investigativos de la revisión documental realizada se seleccionaron nueve; entre estos se encuentran artículos y un trabajo de pregrado. A continuación, se presentan de forma resumida:

Oliveira *et al.* (2008) expusieron en su manuscrito “Removal of As(V) and Cr(VI) from aqueous solutions using solid waste from leather industry” los resultados de la aplicación en aguas residuales sintéticas que contenían Cr(VI) y As(V) la eficiencia en remoción al emplear virutas cromadas. El estudio realizado por los autores mostró la caracterización fisicoquímica del biomaterial (espectroscopia infrarroja y microscopía electrónica de barrido (SEM, por sus siglas en inglés)), así

como los ensayos de adsorción –donde se evaluaron las condiciones de concentración de los contaminantes (intervalo de 0 mg/L a 1000 mg/L), influencia del pH (1 a 9 unidades)- realizados en un tiempo de 24 h, a temperatura ambiente. Con relación a los resultados y las conclusiones, establecieron capacidades de sorción de 133 mg/g y 26 mg/g para el cromo y el arsénico respectivamente, a pH ácidos (1,0) al emplear dicho residuo colagénico.

En este sentido, en el artículo titulado “Activated carbon from leather shaving wastes and its application in removal of toxic materials” de Kantarli y Yanik (2010) socializaron los hallazgos del uso de residuos de colágeno (virutas del WB y tanino vegetal) modificados fisicoquímicamente (carbón activado con HCl, H₃PO₄ y ZnCl₂) para sorber azul de metileno, fenoles y Cr(VI); estos, en matrices acuosas sintéticas. Expusieron la caracterización morfológica del sorbente (porosidad, área superficial), composición química y los ensayos batch realizados a temperatura ambiente –el cromo se ajustó a pH 2 y los otros contaminantes sin ajuste de pH-; en donde las pruebas de laboratorio buscaron evaluar la concentración de los contaminantes, en tiempos de 2 h a 24 h. Los autores establecieron que las modificaciones realizadas mejoraron la porosidad, el área superficial y la presencia de sitios activos relacionados con los grupos funcionales del adsorbente (donde los sitios ácidos y básicos totales estuvieron en el rango de 0,05 mmol/g – 2,0 mmol/g y 0,33 mmol/g a 1,51 mmol/g, respectivamente). Para el caso del Cr(VI) se encontró capacidades de máxima adsorción entre 126,6 mg/g a 133,3 mg/g.

En adición, el artículo “The Feasibility of Chrome Shaving to Remove Cr(III) from Aqueous Solutions” de los autores Xu y Hao (2011a) expusieron el uso de las virutas cromadas sin modificación fisicoquímica para remover Cr(III) presente en matrices acuosas sintéticas. En primer lugar, caracterizaron el bioadsorbente a través de espectroscopia IR, SEM; las variables evaluadas fueron el efecto de la concentración del adsorbato (rango 10 mg/L – 50 mg/L), así como el pH (intervalo 2 a 6 unidades) y el tiempo (10 min – 120 min) a temperatura ambiente. Adicionalmente, los autores evaluaron la desorción del biomaterial empleando HCl 0,5 M en un tiempo de 24 h. Los resultados y conclusiones mostraron que a pH 6 se presentó una eficiencia en remoción del 98,5%, donde el aumento de la concentración del contaminante conllevó a que se disminuyera el proceso de adsorción. También, el bioproceso es quasi-instantaneo en un tiempo de 60 minutos, con una capacidad máxima de adsorción de 8,42 mg/g.

Asimismo, Xu y Hao (2011b) en su manuscrito “Detoxification of chrome shaving and its use as an adsorbent of Cr(III) from aqueous solutions” dieron cuenta del potencial uso de las virutas del WB *desintoxicadas* –VD- (material al que previamente se le sustrajo gran parte del cromo que tenía adherido utilizando tartrato de potasio 1 N e hidróxido de sodio 0,5 N) para adsorber iones Cr(III) de aguas sintéticas. Los autores socializaron la caracterización del adsorbente a través de espectroscopia infrarroja y SEM, así como los ensayos batch realizados (donde se evaluaron niveles de concentración del sorbato de 10 mg/L a 100 mg/L, así como pH en el intervalo de 2 – 6 unidades, como rangos de tiempos de 10 min a 120 min). Acerca de los resultados y conclusiones, se estableció que a pH 6 la capacidad de adsorción fue de 39,4 mg/g, siendo un proceso quasi-instantáneo con un tiempo de equilibrio de 30 min a temperatura ambiente. Adicionalmente, los investigadores encontraron que las VD tienen un ciclo de reúso de 6 veces.

En suma, la investigación divulgada de Chabaane *et al.* (2011) titulada “Immobilization of vegetable tannins on tannery chrome shavings and their use for the removal of hexavalent chromium from contaminated water” propusieron la modificación fisicoquímica de virutas cromadas con taninos vegetales (extracto de castaño y mimosa; 10 g del tanino por cada 50 g de viruta) para emplearlas como sorbentes de Cr(VI) en aguas sintéticas. Las variables de adsorción evaluadas a temperatura ambiente fueron pH (2 a 10 unidades), concentración del contaminante, tiempo de contacto (0 min. – 480 min.); también, se caracterizó el biomaterial a través de espectroscopia IR. Los resultados y conclusiones del estudio develaron que a pH 4 con ambas modificaciones se presentan capacidades

de adsorción entre 38 mg/g a 42 mg/g, mejorando el proceso de bioadsorción de Cr bajo un tiempo de 120 min.

Asimismo, Onenc *et al.* (2011) reportaron en su artículo “Use of Solid Wastes from the Leather Industry as an Adsorbent” el aprovechamiento de virutas curtidas al cromo y residuos de lodos activados, modificados fisicoquímicamente –carbones activados con ZnCl_2/HCl -, como potenciales biosorbentes de Cr(VI), fenoles y colorantes (ácidos y básicos) en aguas sintéticas. Los hallazgos socializados estuvieron relacionados con la caracterización fisicoquímica de dichos residuos, morfología superficial/porosidad, elucidación de grupos funcionales a través de espectroscopia IR y ensayos de adsorción (donde se evaluó la influencia del pH –rangos de 3 a 6,5 unidades-, concentraciones de los sorbatos -50 mg/L a 200 mg/L-) a temperatura ambiente. Con relación a los resultados, particularmente para la biosorción de Cr, los autores encontraron que a pH 3 con un tiempo de equilibrio entre 4 h a 24 h se encuentran capacidades de máxima adsorción entre 27,33 mg/g – 65,36 mg/g.

Adicionalmente, Hyoung-Uk *et al.* (2012) socializaron en su artículo titulado “Heavy metal removal from aqueous solution by tannins immobilized on collagen” el uso de materiales colagénicos reciclados derivados del proceso de transformación de las pieles de animales como adsorbentes de iones metálicos en aguas sintéticas; estos corresponden a residuos de piel, virutas y recortes modificados fisicoquímicamente; los adsorbatos removidos fueron Cu(II), Cd(II), Cr(III), Pb(II) y Zn(II) en concentraciones de 5×10^{-4} M y en las modificaciones se emplearon sales de fosfonio, zirconio y mimosa 15%. Los ensayos batch de sorción a temperatura ambiente, en este caso con las virutas, revelaron a pH ácidos (2-4 unidades) eficiencias en g/kg Cu(II) -8,67-, Pb(II) -18,93-, Cd(II) -16,90-, Cr(III) -11,70-, y Zn(II) -6,40-.

Por otro lado, Ramos-Bonilla (2015) en su trabajo de Pregrado titulado “Diseño de un Filtro en Base al Rebajado del Wet Blue (cuero curtido) para la Remoción de Contaminantes Provenientes de los Efluentes de la Curtiembre Ceticuero” tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de las virutas del WB con modificación química –NaOH 0,1% a 0,6% y H_2SO_4 0,1% a 0,4%-; estas, usadas para remover color, cromo total, sólidos sedimentables (SSED), grasas y aceites (GyA). Dicha tecnología se aplicó en aguas de curtido, teñido y ribera. En la investigación del autor se evaluaron variables como concentración de los contaminantes orgánicos e inorgánicos, cantidad del biosorbente, pH, volumen del efluente tratado y tiempo. Los resultados y conclusiones mostraron que la viruta modificada presentó %remoción de Cr (99,24%), SSED (99,31%), GyA (93,26%) y color (97,20%).

Finalmente, Louarrat *et al.* (2017) en su investigación divulgada “Removal of Chromium Cr(VI) of Tanning Effluent with Activated Carbon from Tannery Solid Wastes” expresaron el aprovechamiento de los residuos de curtiembres virutas del WB y pelo de cabra modificados como carbones activados; estos, empleados para remover Cr(VI) en aguas sintéticas y posteriormente su aplicación en efluentes contaminados con Cr(III). Los autores caracterizaron fisicoquímicamente los adsorbentes a través de análisis SEM, espectroscopia infrarroja, termogravimetría, morfología superficial, porosidad; así como los ensayos en modo batch evaluando el efecto del pH en los contaminantes –bajo condiciones de temperatura ambiente, 4 h y agitación de 200 RPM-. Frente a la discusión de los hallazgos, se encontró que a pH 3 particularmente las virutas presentaron una capacidad de sorción 57,71 mg/g. En las pruebas con aguas reales, se oxidó todo el Cr(III) a Cr(VI), hallándose una eficiencia en remoción del 78% con el uso de las virutas del WB.

3. Delimitación, descripción y formulación del problema.

Las habilidades de proceso –también denominadas habilidades (-profesionales, -transferibles, -blandas, -laborales)- se han convertido en un foco de interés para los empleadores (en la búsqueda de personal y/o profesionales según los perfiles y necesidades de las empresas o instituciones educativas en diferentes niveles de formación ciudadana) así como en contextos académicos, investigativos y/o científicos (ELIPSS, 2017a; 2017b; Reynders *et al.*, 2019; Toro, 2019). Entre las habilidades del siglo XXI que más se enfatizan en cuanto a su importancia se encuentran las de tipo *interpersonal* (liderazgo, trabajo en equipo, comunicación interpersonal); *cognitivas* (resolución de problemas, PC, PI); *comunicación oral/escrita* y finalmente la auto-evaluación, evaluación entre pares, y la metacognición (ELIPSS, 2017a, 2017b; Toro, 2019; POGIL, 2021).

Su importancia se refleja en diferentes vacantes ofertadas en diversas plataformas de empleo por organizaciones empresariales, instituciones educativas, grupos de investigación que solicitan personal para conformar su equipo de trabajo; no solo que tengan los conocimientos básicos y/o formación académica requerida sino también habilidades transferibles como las mencionadas anteriormente. Lo anterior, se vislumbra en portales como es el caso de la Agencia Pública de Empleo SENA (2022) las vacantes existentes en el territorio colombiano en el área de la Química las empresas solicitantes de personal especificaron algunas actividades relacionadas con las habilidades citadas como:

- a) Formulación de proyectos de acuerdo con métodos y técnicas de investigación (*habilidades comunicación oral/escrita, evaluación, resolución de problemas*).
- b) Análisis de muestras químicas según procedimientos de laboratorio y reportes de los resultados (*habilidades manipulativas, comunicación escrita, cognitivas*).
- c) Ejecución de técnicas instrumentales de análisis de acuerdo con los protocolos y naturaleza de la muestra (*habilidades manipulativas, resolución de problemas*).
- d) Procesamiento de los datos recolectados de acuerdo con requerimientos del proyecto de investigación (*habilidad PI*).
- e) Recolección de datos de acuerdo a normas y requerimientos de la Compañía (*habilidad PI*).
- f) Procesamiento de datos e información de acuerdo con los procedimientos técnicos y metodología estadística (*habilidad PI*).
- g) Procesamiento de los datos de acuerdo con técnica de investigación y tabulación (*habilidad PI*).
- h) Sistematización de datos masivos e información de acuerdo con métodos de analítica y herramientas tecnológicas (*habilidad PI*).
- i) Apoyo en experimentos, ensayos y análisis químicos utilizando técnicas como: la cromatografía, espectroscopia, técnicas de separación química y física y microscopia.
- j) Tabulación de datos, recoger registros, apoyar el análisis de datos y en la interpretación de resultados experimentales o analíticos (*habilidad PI*).
- k) Operación, mantenimiento, calibración de equipos e instrumentos de laboratorio, preparar soluciones, reactivos y probar fórmulas (*habilidades manipulativas, pensamiento crítico/analítico, resolución de problemas*).
- l) Capacidad de análisis e interés para dar soluciones prácticas a los problemas (*habilidades cognitivas –resolución de problemas, PC-*).
- m) Sentido de organización, trabajo en equipo y liderazgo, pensamiento analítico y creativo (*habilidades interpersonales –liderazgo, trabajo en equipo, y cognitivas –PC-*).

Debido a este tipo de requerimientos, la educación universitaria ha atravesado paulatinamente por importantes cambios en cuanto a las metodologías y contenidos que se deben abordar en los diferentes programas de formación académica, con el fin de promover lo que debe saber, saber hacer y saber ser los futuros profesionales de diversas áreas del conocimiento (Jiménez *et al.*, 2013; Monllor-Satoca *et al.*, 2013; Deng *et al.*, 2014). Sin embargo, Reynders *et al.* (2019) y Toro (2019) expresaron que a pesar de la gran importancia de dichas habilidades y tal como lo han expresado algunos autores en sus investigaciones, se encuentra un vacío en cuanto a su articulación, implementación y evaluación particularmente dentro de los programas de formación de Pregrado. En suma, Toro (2019) expresó que educandos graduados de los programas académicos universitarios son deficientes en este tipo de habilidades blandas demandadas por el mercado laboral.

Ahora bien, la habilidad PI se ve implícita en los perfiles laborales que buscan los empleadores de diferentes contextos productivos tal como se observó anteriormente; pues generalmente involucra la evaluación, interpretación, manipulación o transformación de diversa información que se obtiene de un determinado proceso -sea industrial, académico y/o científico-investigativo-; como identificación información que es relevante o no, documentación un análisis fisicoquímico, tratamiento de datos cuantitativos usando la Quimiometría, realización de gráficos, uso de sus propias palabras para dar significado a un evento o pieza de información, etc. (ELIPSS, 2017a, 2017b; Cole *et al.*, 2019a; Reynders *et al.*, 2019, POGIL, 2021).

Frente a la promoción de estas importantes habilidades profesionales, el equipo investigador del método POGIL tomó este aspecto como uno de los pilares que lo caracterizan, adicional al aprendizaje centrado en el estudiante y la construcción del conocimiento en pequeños equipos de trabajo (ET); donde el profesor es el facilitador del aprendizaje más que una fuente de información (POGIL, 2021). La comunidad investigativa POGIL ha reportado importantes aportes en cuanto a su uso, sus bondades y gran acogida por los alumnos cuando este se ha implementado en áreas como la Medicina, Química, Ciencias sociales, Psicología, Informática, etc. (Reynders *et al.*, 2019; Rodríguez *et al.*, 2020). Vale la pena mencionar que, los materiales didácticos desarrollados por tal ET siguen siendo hoy en día desconocidos por la comunidad educativa y que sería importante comenzar a tomarlos como punto de partida para la estructuración de propuestas didácticas, en este caso, en temas de la QAI.

Por otro lado, en la enseñanza de la QAI en carreras universitarias afines a la Química habitualmente uno de los temas que se abordan es la calibración instrumental de técnicas analíticas como la espectrofotometría -Ultravioleta-Visible (UV-VIS), Absorción Atómica (AA)-cromatografía líquida de alto desempeño (HPLC, por sus siglas en inglés), cromatografía de gases, espectrometría de masas, entre otras (Lantz & Cole, 2014; Schmidt-McCormack, 2017; Esteban-Muñoz *et al.*, 2020). Este es uno de los tantos componentes conceptuales y metodológicos de bastante importancia dentro de la formación de futuros profesionales; puesto que, las Organizaciones – empresas, comunidades científicas, instituciones educativas- requieren de personal que conozca del fundamento de la técnica, la metodología analítica, y que pueda proporcionar cambios y/o sugerencias importantes para ajustar y/o mejorar, en este caso, el análisis químico según los requerimientos y el contexto (académico, científico, industrial) (Lantz & Cole, 2014).

Adicionalmente, en las pruebas de conocimientos que generalmente aplican las empresas desde el área de Gestión del Talento Humano, indagan acerca de los aspectos conceptuales y/o metodológicos de este tipo de temas a la persona que aplica a una determinada vacante relacionada; o en programas académicos de formación continuada, avanzada o especializaciones relacionados con la Química se abordan esta clase de contenidos (Deng *et al.*, 2014; Manjón-Marín, 2017).

Una forma de amenizar y contextualizar los aspectos conceptuales y/o metodológicos, así como potencializar habilidades como las presentadas anteriormente inherentes a la QAI en cuanto a su enseñanza en niveles educativos de formación académica técnica, tecnológica, pregrado, posgrado, doctorado, especializaciones o diplomados, se ha integrado el uso de situaciones socio-ambientales.

En estas, se involucra el uso de matrices que envuelven particularmente agua, suelo, aire, alimentos, medicamentos u objetos de consumo o uso cotidiano (Amarasiriwardena, D., 2007; Garrison *et al.*, 2013; Finch *et al.*, 2015; White *et al.*, 2020; Esteban-Muñoz *et al.*, 2020).

Para el caso de la presente investigación, se involucró un TLV que articula una situación relacionada con el uso de uno de los residuos sólidos derivados del proceso de transformación de las pieles de animales (virutas del WB), en cuanto a su aplicación en aguas residuales contaminadas con Cr. Esto, como forma de aplicar los conocimientos construidos en la intervención educativa en cuanto al análisis químico simulado de dicho metal por EAA-llama empleando las MCI estándar y EM. Adicionalmente, presentar la EM como una metodología alternativa en cuanto al análisis de matrices analíticas que contienen interferentes químicos, en el caso de la presente investigación, de naturaleza metálica y que podría ser de ayuda en contextos académicos, productivos y/o de investigación puesto que hay poca literatura reportada frente a la misma, particularmente, en la cuantificación de Cr (Scott y Hilt, 2019); y que por supuesto, en la medida de lo posible pueda extrapolarse frente a la determinación de otros metales susceptibles de ser analizados por EAA-llama.

Finalmente, dado que hasta la fecha no se ha consolidado en revisiones de literatura o reportes investigativos los hallazgos expuestos a nivel mundial sobre las condiciones óptimas en cuanto al uso de las virutas del WB como potenciales biomateriales para tratar efluentes acuosos que contienen Cr –tomando como punto de partida el apartado de antecedentes-. Lo que se pretende es que a partir de esta investigación se convierta en una guía para ET o proyectos de investigación futuros en continuar valorizando este tipo de residuos sólidos. Esto, con el fin de trabajar colaborativamente con empresas interesadas en implementar este tipo de tecnologías, así como el de tratar de reducir y/o mitigar las importantes situaciones socio-ambientales que envuelven la salud humana y ambiental frente a la disposición de dichos residuos colagénicos, el cumplimiento de disposiciones legales a nivel local e internacional que rigen el vertimiento de efluentes contaminados con Cr por parte de industrias que disponen sus aguas sin algún tratamiento previo.

Adicionalmente, citando el apartado de antecedentes consolidado, el investigador expresa que hay vacíos en cuanto al diseño de propuestas educativas en el marco de la QAI dirigidas a estudiantes en formación técnica, tecnológica, pregrado, posgrado, doctorado, especializaciones, diplomados. Lo anterior, para la enseñanza de aspectos conceptuales y/o metodológicos de las MCI estándar y EM en EAA-llama acompañado de un TLV relacionado con la adsorción de Cr presente en aguas residuales aprovechando virutas cromadas.

No obstante, dado que a modo de pilotaje la PE estructurada se implementó en un grupo de profesores de Química en formación inicial de la Universidad Pedagógica Nacional (UPN) Bogotá D.C., es importante mencionar que:

La formación inicial y continuada de profesores de ciencias experimentales, en particular de Química, ha sido uno de los campos que ha tomado bastante atención e investigación, tal como lo hacen saber algunos autores (Domínguez y Álvarez, 2001; Erazo, 2001; Rocha *et al.*, 2013; Franco *et al.*, 2015; Ibáñez y Córdoba, 2017). Para el caso de la UPN, educadora de educadores, el Proyecto Curricular Experimental de Licenciados en Química, de correspondencia con Erazo (2001) y Franco *et al.* (2015), se configuró alrededor de las premisas de lo que debe *saber* (conocimiento disciplinar y conocimiento pedagógico-didáctico), *saber hacer* (habilidades, competencias y/o destrezas) y *saber ser* (valores, formación integral) un profesor de Química.

Dentro de la formación inicial de profesores de Química de la UPN, el área de la QAI se contempla en los contenidos de los programas analíticos; esto en espacios académicos como métodos de análisis químico y asignaturas de profundización disciplinar (siendo éstos últimos situados en el ciclo de profundización, dentro del componente de saberes específicos y disciplinares) (UPN, 2020).

Dado el panorama anterior, la pregunta problema que orientó la presente investigación se formuló en los siguientes términos:

¿Se fortalecerá la habilidad de proceso -PI- en un grupo de estudiantes universitarios de una carrera afín a la Química –profesores en formación inicial del PLQ-UPN- al implementar, a modo de pilotaje, una PE usando el método POGIL sobre algunos MCI en EAA de llama (métodos estándar y EM) acompañada de un TLV sobre un proceso de biosorción de Cr con virutas del WB?

4. Justificación.

Dados los vacíos investigativos discutidos en el apartado de antecedentes y puesto que aún no se han realizado trabajos relacionados con el fortalecimiento de la habilidad de proceso -PI-, PE que aborden el tema de métodos de calibración en EAA-llama (metodología estándar y EM) en EAA-llama; acompañadas de un TLV relacionado con el análisis de Cr resultante de un proceso de bioadsorción empleando virutas cromadas en aguas residuales industriales, la importancia, utilidad y novedad de esta investigación se encuentran relacionados con:

Dada la gran importancia en la promoción de las habilidades de proceso en los futuros profesionales en contextos industriales, académicos o científicos, se hace necesario su desarrollo y/o fortalecimiento; pues estas se ven envueltas en los requerimientos de las Organizaciones (industrias (-del sector farmacéutico, -alimentos, -ambiental), instituciones educativas)) en cuanto a personal que pueda desempeñar una función, tarea, actividad o contribuir al mejoramiento de los procesos externos o internos que se llevan a cabo dentro de estas, según su actividad laboral. Adicionalmente, aunque se alude la relevancia de tales habilidades aún permanecen vacíos investigativos con respecto a su vinculación y evaluación en programas de formación de Pregrado (Reynders *et al.*, 2019; Toro, 2019) en espacios académicos como es el caso de la QAI.

En complemento, la calibración instrumental y algunas metodologías inmersas (método estándar, adición de patrón interno, etc.) es uno de los contenidos que se abordan en la formación académica en carreras afines a la Química. Por tanto, en contextos académicos, laborales o científicos se hace necesario que los futuros profesionales que ingresan al mundo laboral conozcan de este tipo de temas; puesto que, posiblemente se enfrentarán a equipos instrumentales para el análisis de determinadas matrices analíticas, donde harán uso de espectrofotómetros (UV-Vis., de absorción atómica -de llama, -con horno de grafito, -vapor frío-), cromatógrafos (líquidos de alto desempeño, de gases), entre otros; donde elaborarán patrones para realizar CC, aplicar criterios para la elección de gráficos obtenidos, y reportar la concentración del analito de interés bajo la selección realizada, así como algunos parámetros inherentes del método (LOD, LOQ), etc.). A ello se une la labor de formación ciudadana de los profesores de ciencias experimentales; dado que, en escenarios educativos (técnicos, tecnológicos, universitarios, especializaciones, diplomados) tendrán que abordar este tipo de temas, así como la planeación y ejecución de metodologías analíticas relacionadas con las técnicas instrumentales señaladas.

En suma, es importante que los futuros profesionales conozcan metodologías como la EM para ser utilizadas en EAA-llama, en el análisis de matrices como aguas en las que están presentes sustancias diferentes a las del mensurando de interés; que pueda ser de gran utilidad para las Organizaciones, mencionadas antes, que prestan el servicio del análisis, en este caso, de metales presentes en muestras sólidas o líquidas (agua, suelo, alimentos, cabello, uñas, sangre, etc.); o para docentes universitarios en ejercicio que aborden este tipo de métodos en la técnica señalada (Scott y Hilt, 2019).

Por otro lado, el uso de situaciones socio-ambientales que involucra el análisis fisicoquímico de matrices analíticas alrededor de las esferas ambientales o productos de consumo humano o animal se ha convertido en una estrategia didáctica; esto, para aplicar y contextualizar los conocimientos teórico-prácticos abordados en el aula de clases en temas como las MCI, en técnicas como la espectroscopia UV-VIS, EAA-llama, cromatografía, etc. Adicionalmente, promover o fortalecer habilidades manipulativas, investigativas, procedimentales de gran importancia, en este caso, el análisis químico.

Cabe añadir que frente a las situaciones que envuelven particularmente los recursos naturales, en este caso la del agua (debido a su aplicación en la gran mayoría de actividades humanas o empresariales) se hace necesario conocer las investigaciones que se han desarrollado y divulgado frente a casos como la contaminación de este tipo de recurso, por sustancias orgánicas, inorgánicas o

agentes microbiológicos. Lo anterior, con el propósito de hacer frente a este tipo de escenarios para salvaguardar la salud ambiental y humana, fortalecer algunos Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) en los que se menciona el agua, y para el caso de las industrias cumplir con las disposiciones legales vigentes. Frente a estas últimas, para el caso de Colombia estarían, por ejemplo: Resolución 0631 de 2015, así como el Decreto 2811/1974, Ley 9/1979, Decreto 1713/2002, entre otros (relacionados con la recolección, tratamiento, procesamiento y aprovechamiento de residuos sólidos) (Ramírez, 2014), así como el fortalecimiento de propuestas como la Estrategia Nacional de Economía Circular (Gobierno de la Republica de Colombia, 2019).

En adición, dada la gran generación de residuos sólidos, líquidos, gaseosos, por ejemplo, los provenientes de industrias como las curtiembres, se hace necesario que estos materiales se valoricen hacia una potencial aplicación (externa o interna), como es el caso de la remoción de Cr presente en aguas residuales industriales, empleando materiales colagénicos como las virutas cromadas. Aunque en la indagación y selección de productos investigativos de la presente investigación se encontraron importantes hallazgos relacionados con el objeto tocante, estos aún no han sido consolidados en un trabajo o divulgación; con el fin de que se convierta en una guía para grupos de investigación o comunidades interesadas en implementar este tipo de tecnologías en sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales.

Por ende, la presente investigación busco realizar aportes desde:

- (a) El *punto de vista teórico*, con respecto a los antecedentes encontrados y seleccionados, así como los referentes conceptuales; todo lo anterior, en aspectos PyD, así como disciplinares. Los cuales relacionaron, en términos generales la habilidad PI, metodología POGIL, metodologías estándar y EM en EAA-llama, adsorción de Cr presente en aguas residuales (sintéticas y/o reales) aprovechando las virutas del WB (desde el reporte de las COS reportadas en la literatura). Adicionalmente, los resultados relacionados con la calibración instrumental empleando la EM para el análisis de Cr en presencia de algunos interferentes químicos de origen inorgánico, metales como el Zn(II) y Cu(II). Dado que, hasta el momento no se han reportado trabajos relacionados con este tipo de calibración, particularmente, para el análisis de cromo en aguas residuales sintéticas con las especies iónicas metálicas mencionadas.
- (b) Desde la *mirada metodológica*, se reportaron instrumentos relacionados con actividades basadas en el POGIL dirigidos a la enseñanza de aspectos conceptuales y/o metodológicos; en este caso, de las MCI en EAA-llama mencionadas anteriormente. Adicionalmente, un TLV relacionado con la bioadsorción de Cr con virutas cromadas. Cabe indicar que, la presente investigación tomó como guía y adaptó material reportado en las investigaciones encontradas y seleccionadas por equipos investigadores como el POGIL y ELIPSS.
Adicionalmente, en el trabajo se expusieron los hallazgos y COS reportadas en los productos investigativos elegidos referentes al uso de las rebajaduras cromadas para el tratamiento de efluentes acuosos contaminados con Cr; lo anterior, para que las empresas que posiblemente utilizan materias primas con este tipo de metal empleen esta clase de tecnología en un futuro no muy lejano; o grupos que deseen continuar investigando este tipo de biomateriales. Esto, para hacer frente a los nuevos desafíos socio-ambientales en los que se ven envueltos esta clase de metales pesados; con el fin de propender hacia el cumplimiento de algunos ODS, algunas disposiciones legales, y la economía circular en las empresas así como el de salvaguardar la salud humana y ambiental (Chojnacka *et al.*, 2021).
- (c) Por último, desde el *punto de vista práctico* está relacionado con la PE diseñada; pues se espera sea implementada en otros programas académicos afines a la Química (técnica, tecnológica, pregrado, posgrado, doctorado, especializaciones, diplomados). Donde se

aborden contenidos relacionados con la QAI como es el caso de la EAA-llama; no solo para fortalecer el saber disciplinar de los profesionales en formación sino el saber hacer (habilidades blandas) y el saber ser -debido a la demanda y competencia en el mercado laboral según los requerimientos de las organizaciones señaladas anteriormente-.

Adicionalmente, la investigación aporta a la promoción de habilidades transferibles como es el caso del PI -bastante mencionada en actividades solicitadas por los empleadores en las ofertas laborales que postulan en sitios web de búsqueda de trabajo-. Vale la pena mencionar que, este trabajo puede ser un punto de partida adicional para que se consoliden líneas o grupos de investigación relacionados con el desarrollo y/o fortalecimiento de habilidades profesionales que son demandadas por las Organizaciones, en el marco de la enseñanza de la QAI; esto, con el fin de contribuir a la formación de futuros profesionales en cuanto a lo que debe saber, saber hacer y saber ser.

Por otro lado, se espera que a futuro se comiencen a implementar y a evaluar en matrices de aguas reales la potencialidad de las virutas cromadas para sorber especies crómicas. Puesto que hasta el momento se han aplicado en “sistemas de aguas sintéticas mono metálicos ideales”. Por supuesto, con contaminantes orgánicos, inorgánicos y microbiológicos que pudieran estar presentes y afectarían el proceso de remoción de Cr. Por ende, se busca desde el levantamiento de información consignado en esta investigación se estructuren y formalicen proyectos, líneas y grupos de investigación relacionados con la valorización de residuos derivados de actividades como las curtiembres; con el fin de hacer frente a las importantes situaciones socio-ambientales relacionadas con el tratamiento de las aguas residuales.

Finalmente, la *novedad de la investigación* está relacionada con la búsqueda y reporte de trabajos investigativos relacionados con la biosorción de Cr usando virutas cromadas (en términos de las COS encontradas desde una revisión documental), la estructuración de una propuesta para la enseñanza de aspectos conceptuales y/o metodológicos de algunos MCI en EAA-llama (la cual involucró actividades basadas en el método POGIL, un TLV (simulador), material tomado y adaptado del equipo POGIL y ELIPSS); así como la obtención de datos experimentales en la metodología EM en la cuantificación de Cr en aguas residuales sintéticas en presencia de otros iones metálicos (interferentes químicos).

5. Objetivos.

5.1. Objetivo general.

Evaluar el fortalecimiento de la habilidad de proceso *-PI-* en un grupo de estudiantes universitarios de una carrera afín a la Química –profesores en formación inicial del PLQ-UPN- al implementar, a modo de pilotaje, una PE usando el método POGIL sobre algunos MCI en EAA-llama (métodos estándar y EM) acompañada de un TLV sobre un proceso de biosorción de Cr con virutas del WB.

5.2. Objetivos específicos.

- 5.1.1. Estandarizar el proceso de biosorción de Cr en aguas residuales (industriales y/o sintéticas) desde una revisión documental en el periodo de 2000-2021.
- 5.1.2. Diseñar e implementar, a modo de pilotaje, las actividades de la propuesta usando el método POGIL para la enseñanza de los MCI en EAA-llama (métodos estándar y EM) articulando el TLV sobre el proceso de biosorción de Cr.
- 5.1.3. Analizar el fortalecimiento de la habilidad de proceso *-PI* en el grupo seleccionado, tras la implementación de la PE basada en el método POGIL.

6. Marco conceptual.

6.1. Marco conceptual PyD.

6.1.1. El método POGIL y las habilidades de proceso.

Aproximadamente desde el año 2006, profesores investigadores de Química como Richard Moog, John Farrell Frank Creegan, David Hanson, James Spencer y Andrei Straumanis comenzaron a hablar acerca del proyecto POGIL en artículos como “Process-Oriented Guided Inquiry learning: POGIL and the POGIL Project” (Moog *et al.*, 2006), “Chapter 1 POGIL: An Overview” (Moog y Spencer, 2008); cuyos planteamientos estaban enfocados en resaltar la metodología tradicional llevada a cabo en el aula donde el profesor bajo un rol de *conferencista* trata de explicar la mayor cantidad de conceptos o teorías, ofreciendo alternativas de solución a un determinado problema o situación. Los educandos no participaban activamente, dejando usualmente de lado la interacción estudiante-estudiante. La mayoría de las veces se recurría al libro de texto para desarrollar ejercicios o aclarar alguna duda, dejando de lado las concepciones alternativas, así como el desarrollo de esenciales habilidades cognitivas y afectivas (p.42).

Frente a lo anterior, Moog *et al.* (2006, p.42), Moog y Spencer (2008 p.2) añadieron que en investigaciones previas relacionadas con “la forma en que las personas aprenden mejor”, enfatizaban: (1) la construcción de la autocomprensión basada en los conocimientos y las experiencias previas, así como las habilidades, actitudes y creencias; (2) seguir un ciclo de aprendizaje relacionado con la exploración, la invención y aplicación de un concepto clave; (3) la discusión e interacción con los demás; (4) la reflexión acerca del progreso y evaluación de desempeño. Basados en estas aseveraciones, fueron algunas de las bases tomadas como punto de partida para plantear un enfoque instruccional centrado en el estudiante, donde se guía a los educandos hacia la construcción de su propia comprensión a través de pequeños equipos de trabajo (ET) enfocándose en la promoción de importantes habilidades transferibles, denominado POGIL.

El acrónimo POGIL hace referencia al *Process Oriented Guided Inquiry Learning*, es decir, el Aprendizaje de Indagación Guiada Orientada a Procesos (Moog *et al.*, 2006; Moog y Spencer, 2008; POGIL, 2021). Corresponde a una metodología instruccional centrada en el estudiante, ambiente de aprendizaje cooperativo o estrategia de enseñanza activa, donde el conocimiento y la comprensión del contenido conceptual o teórico clave se construye y/o fortalece en pequeños ET haciendo uso de roles y actividades que fomentan la responsabilidad individual (Moog *et al.*, 2006; Moog y Spencer, 2008; POGIL, 2021).

Esta estrategia instruccional fue desarrollada hacia los años 1990 en escuelas secundarias y universitarias de EE.UU., retomando la teoría del aprendizaje constructivista (Chase *et al.*, 2013; Balaguera-Quinche, 2017; Pereira *et al.*, 2021). Cabe aclarar que, el término *activo* concierne a que los educandos están haciendo algo con el material educativo dado, por ejemplo, copiar del tablero, subrayando oraciones importantes en el texto, tomando notas) (Simonson, 2019).

Haciendo un paréntesis frente a la teoría del aprendizaje constructivista, Moquete de la Rosa (2012) expuso que los psicólogos cognoscitivistas expresaron que el aprendizaje es un proceso interno no observable de forma directa a diferencia del conductismo –donde el aprender refiere a un cambio de conducta- (p.164). Por tanto, el aprendizaje está relacionado con factores que no son observables, tales como el significado, los sentimientos, las expectativas el conocimiento, los pensamientos, la creatividad y la intención. En cuanto a su incidencia en la educación, Moquete de la Rosa (2012, p.165) expresó que desde una visión alrededor de los aportes de Piaget el sujeto aprendiz forma en su mente una estructura cognitiva resultado de su experiencia con el objeto exterior o ambiente, la subjetividad individual inherente, ayudadas por su capacidad intelectual, que le permitiría establecer lo que es importante o no (Lamba, 2008).

A partir de la estructura mental que existe, el aprendiz construye nuevos conocimientos manifestándose una situación activa del sujeto en el aprendizaje desde las aptitudes y experiencias que posee. Por ende, la construcción del conocimiento se convierte en una actividad mental donde el sujeto aprende, empleando lo ya aprendido (Moquete de la Rosa, 2012, p.165). A esto, se añade la mirada del constructivismo social, donde dicho proceso se ve favorecido al interactuar con otros (López-Bernabéu *et al.*, 2018).

Estos aspectos generales abordados son claves en cuanto a la metodología POGIL pues es importante rescatar el aprendizaje como ET, teniendo presente las experiencias, concepciones previas, con el fin de generar un diálogo de saberes para llegar a acuerdos entre los miembros del equipo, fortalecer los conceptos y mejorar la comprensión y aplicación de estos (Farrell *et al.*, 1999; Moog *et al.*, 2006; Vishnumolakala, 2013).

Aunque, se han reportado importantes metodologías áulicas como estrategias didácticas en la literatura (Eberlein *et al.*, 2008; Chase *et al.*, 2013; González-Sánchez *et al.*, 2015; Pereira *et al.*, 2021) el POGIL difiere de otros enfoques puesto que busca mejorar o desarrollar esenciales habilidades de proceso. Para ello, se debe diseñar material de clase POGIL que:

- a) Involucre el trabajo en equipo de forma autogestionada, donde el profesor se convierte en un facilitador del aprendizaje del educando más que una fuente de información. Los pequeños grupos de trabajo interactuando entre integrantes busca la comprensión, recordar, esclarecer, llegar a disensos, ofrecer alternativas o ideas, frente a un determinado concepto, situación o problema dado.
- b) Guíe a los estudiantes a través de una exploración de un modelo para construir, profundizar, refinar y/o integrar la comprensión del contenido disciplinario importante.
- c) Integre el desarrollo de al menos una de las habilidades de proceso en la estructura y/o contenido de la actividad (Moog *et al.*, 2006; POGIL, 2021).

En adición, el término *Process Oriented* refiere a la orientación explícita en cuanto aspectos del trabajo en equipo y la enseñanza centrada en estudiante, que vincule el desarrollo de las habilidades proceso, los logros de aprendizaje y contenido propuestos por el facilitador; asimismo, *Guided Inquiry* concierne al ciclo de aprendizaje que relaciona la exploración, invención y aplicación de un determinado concepto a través del análisis de un modelo (mini-lecturas, videos, completar esquemas, interpretar un gráfico, etc.) guiado por preguntas o acciones orientadoras formuladas por el facilitador (Vincent-Ruz *et al.*, 2020). Es importante mencionar que *modelo*, está relacionado con los sistemas-objeto iconográficos, conceptuales, matemáticos, químicos, del que se puede: establecer analogías, hacer inferencias, obtener información para responder a un cuestionamiento (Chamizo, 2006; Esteban-Muñoz *et al.*, 2021).

El diseño del material de clase POGIL sigue el denominado *ciclo de aprendizaje de la indagación guiada (CAIG)*; cuyas etapas y algunas características se describen en la Figura 4:

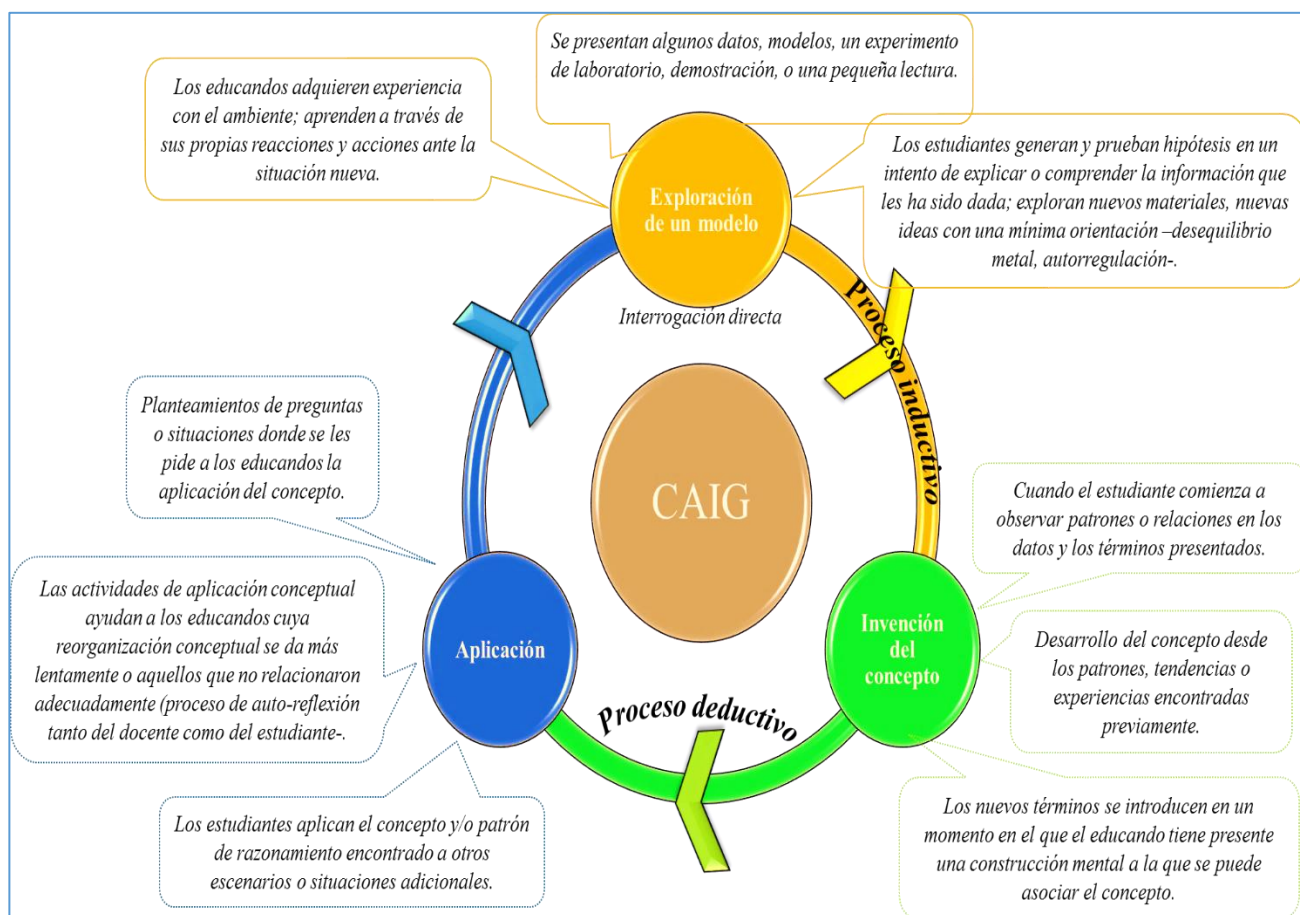


Figura 4. CAIG.

Fuente: Elaborado a partir de Karplus y Butts (1977); Abraham (1986); Moog *et al.* (2008); Moog y Spencer (2008); POGIL (2021).

EL CAIG está basado en los principios del constructivismo; es una estrategia de indagación para el aprendizaje y la enseñanza (Moog *et al.*, 2008). Se ha hablado de este en investigaciones planteadas por autores como Karplus y Butts (1997), Abraham (1986), Moog *et al.* (2008). Algunos de los aspectos referentes a este ciclo de aprendizaje refieren a que fue introducido entre los años 1970 – 1974 en estudios de mejoramiento del currículo de ciencias para promover el abordaje de conceptos claves en la mayoría de niveles educativos (Karplus y Butts, 1997, p.173).

Como se observa en la Figura 4, son tres fases que lo componen: *exploración*, *introducción/invención* y *aplicación del concepto*. Dichas etapas en términos generales están relacionadas con la presentación de un modelo (datos, algún experimento, demostración, video, mini-lecturas, completar información, etc.) a los educandos; donde los mismos, podrían generar y poner a pruebas posibles hipótesis con el fin de explicar o comprender la situación presentada. Después de ello, los aprendices comienzan a observar patrones o relaciones encontradas en la información y los términos expuestos; esto acompañado de preguntas u orientaciones claves que exigen analizar el modelo planteado. Finalmente, los estudiantes aplican el concepto en escenarios o situaciones que se les ha planteado (Karplus y Butts, 1977; Abraham, 1986; Moog *et al.*, 2008; Moog y Spencer, 2008; Lantz y Cole, 2014; POGIL, 2021).

Por otro lado, como bien se mencionó uno de los aspectos claves de la estrategia de enseñanza POGIL es el fortalecimiento y/o desarrollo de importantes **habilidades de proceso**; el proyecto POGIL junto con el equipo ELIPSS han contemplado hasta el momento nueve habilidades; en la Figura 9 se muestran las definiciones operacionales de las mismas.

La definición alrededor de las habilidades de proceso –*también denominadas habilidades (-transferibles, -profesionales, -laborales, -blandas, -del siglo XXI, -prácticas, -científicas)*- es bastante variada según los reportes expuestos en la literatura, pues dependen del área y tema de interés (Cole *et al.*, 2018; Cole *et al.*, 2019a; Cole *et al.*, 2019b). Una aproximación hacia su conceptualización es que, corresponden a habilidades de actuación profesional requeridas ampliamente por los empleadores pertenecientes a comunidades industriales, académicas o científicas (Cole *et al.*, 2018; Cole *et al.*, 2019a; Cole *et al.*, 2019b).

Vale la pena mencionar que, Agut y Grau (2001) argumentan, en este caso, al término habilidad referiría a “la capacidad para desempeñar una tarea física o mental” (p.6), la cual involucra habilidades interpersonales y cognitivas, en correspondencia con POGIL (2021); (Cole *et al.*, 2018; Cole *et al.*, 2019a; Cole *et al.*, 2019b).

Adicionalmente, proyectos dirigidos a fortalecer las habilidades de proceso, así como importantes temas, en este caso, relacionados con la enseñanza de la Química analítica han surgido equipos investigadores como el del Proyecto ANA-POGIL (Lantz y Cole, 2014); así como ELIPSS (ELIPSS, 2017a; Cole *et al.*, 2018). Los cuales han aportado al campo educativo, desde la construcción de material de clase, rúbricas de evaluación, entre otros para ayudar en la formación ciudadana de los aprendices y que esté de la mano con los cambios que paulatinamente atraviesan diversos niveles educativos a nivel mundial, partiendo de los requerimientos laborales, académicos y científicos (Lantz y Cole, 2014; Cole *et al.*, 2018; Czajka *et al.*, 2021).

6.1.2. La habilidad PI.

La habilidad PI corresponde a una habilidad de proceso, que según la definición operacional expuesta por POGIL (2021) y ELIPSS (2017a) refiere a la “*evaluación, interpretación, manipulación o transformación de la información*”. Esta conceptualización -junto a las otras habilidades reseñadas en la Figura 5- se consolidó en el equipo POGIL y ELIPSS en retroalimentación constante con instituciones y docentes de diferentes disciplinas académicas, aunado a los requerimientos (académicos, técnicos) de los campos de actuación profesional (Cole *et al.*, 2019b; Schmidt-McCormack *et al.*, 2019).

Se presentan variadas definiciones de dicha habilidad sin llegar a un consenso hasta el momento en diferentes campos y áreas. Sin embargo, en el marco STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) está relacionada con la interpretación de gráficos, imágenes, piezas de información; adicionalmente, involucra rotulación de figuras/gráficos, esquematización de piezas de información, utilizar datos proporcionados en la respuesta, interpretación de datos/texto, representaciones macro/micro/simbólicas (Cole *et al.*, 2018; Cole *et al.*, 2019b; Schmidt-McCormack *et al.*, 2019).

Para analizar la promoción de las habilidades citadas en la Figura 5, dichos equipos investigadores han diseñado, estructurado y validado rúbricas para evaluarlas y al mismo tiempo ofrecer retroalimentación a los educandos –para su consulta y descarga se encuentran en el sitio web ELIPSS (2017a)-.

Dichas rúbricas fueron diseñadas partiendo de las definiciones operacionales, siendo validadas en un amplio grupo de estudiantes en diversas disciplinas e instituciones; esto, con el fin de verificar su función relacionada con la evaluación de la habilidad objetivo a través de indicadores o características observables. Asimismo, evaluar los productos escritos entregables por los estudiantes –actividades, preguntas, asignaciones-; por último, proporcionar retroalimentación tanto en el trabajo

colaborativo como el individual de la mano con la(s) habilidad(es) de proceso objetivo (Cole *et al.*, 2018).

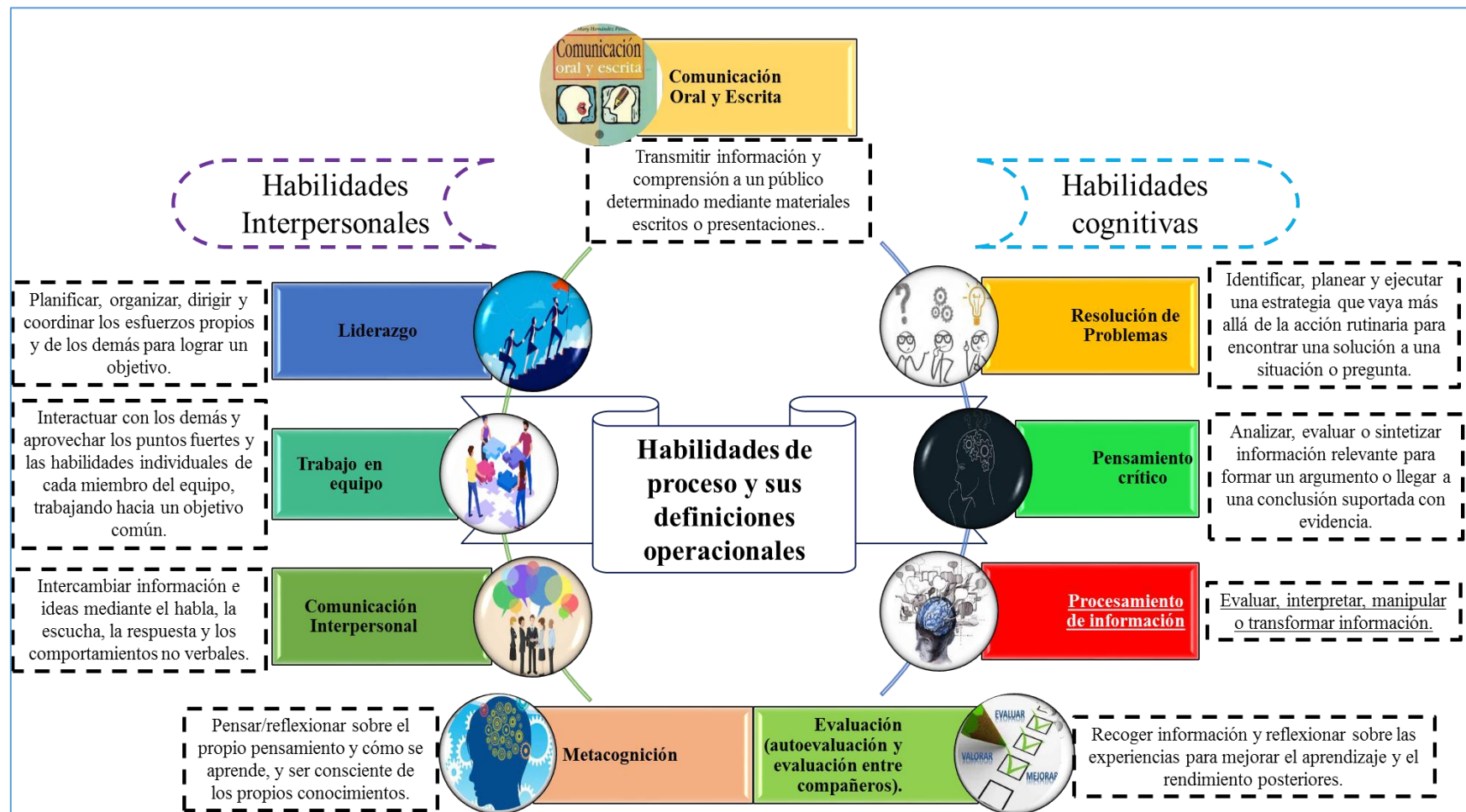


Figura 5. Habilidades de proceso con sus definiciones operacionales.
Fuente: Elaborado a partir de POGIL (2021); ELIPSS (2017a).

Para el caso de la presente investigación, la rúbrica para la habilidad PI fue suministrada por el equipo ELIPSS. En la Tabla 3, se muestra la rúbrica de evaluación/retroalimentación:

Tabla 3. Rúbrica de evaluación/retroalimentación de la habilidad PI.

Procesamiento de información: Evaluar, interpretar, y manipular o transformar información.							
Categoría	Valoraciones						Características observables
(A) Evaluar	Determinó la importancia o relevancia de la información/datos necesarios para la tarea.						Estableció lo que hay que hacer con esta información.
	0	1	2	3	4	5	Indicó qué información es relevante.
	No hay evidencia	Mínimamente		Parcialmente		Completamente	Indicó qué información no es relevante.
							Identificó qué información es proporcionado en el material.
							Indicó por qué cierta información es relevante o no.
Sugerencias para mejorar:							
a) Repita con sus propias palabras la tarea o la pregunta que pretende abordar con esta información.							
b) Resuma las piezas de información que le han dado, y compruebe con los demás que no se ha pasado ninguna por alto.							
c) Añade tus propias notas a la información a medida que determinas de qué se trata.							
d) Escriba/marque con un círculo/resalte la información necesaria para completar la tarea.							
e) Poner una línea en la información que crees que no es necesaria para la tarea.							
f) Describir de qué manera una información particular puede (o no) ser útil (o requerida) para completar la tarea.							
Categoría	Valoraciones						Características observables
(B) Interpretar	Proporcionó significado a los datos, hizo inferencias y predicciones a partir de los datos, o extrajo patrones de los datos.						Ha etiquetado o asignado un significado correcto a la información (texto, tablas, símbolos, diagramas).
	0	1	2	3	4	5	Extrajo detalles específicos de la información.
	No hay evidencia	Incorrectamente		Algunos errores		Correctamente	Re parafraseó la información con sus propias palabras.
							Identificó patrones en la información y dedujo el significado de los mismos.
							Otras:
Sugerencias para mejorar:							
a) Añada notas o subtítulos a las piezas clave de información que se encuentran en el texto, las tablas, los gráficos y los diagramas para describir su significado.							
b) Indique con sus propias palabras lo que representa o significa la información.							
c) Resuma las ideas o relaciones que la información podría expresar.							
d) Determina las tendencias generales de la información y anota cualquier información que no se ajuste a la tendencia.							
d) Compruebe su comprensión de la información con los demás.							

Procesamiento de información: Evaluar, interpretar, y manipular o transformar información.							
Categoría	Valoraciones						Características observables
(C) Manipular o Transformar (Extender)	Convirtió información/datos de una forma a otra.						Determinó que información necesita ser convertida para cumplir con la tarea.
	0	1	2	3	4	5	Describe el proceso utilizado para generar la transformación.
	No hay evidencia	Mínimamente		Parcialmente		Completamente	Convirtió toda la información relevante en una representación o formato diferente.
							Otra:
Sugerencias para mejorar:							
a) Identifique cómo el nuevo formato de la información difiere del formato proporcionado.							
b) Identifique qué información debe transformarse y haga anotaciones para asegurarse de que se ha incluido toda la información pertinente.							
c) Revise la nueva representación o formato para asegurarse de que toda la información relevante ha sido incluida.							
d) Considere qué información no se incluyó en la nueva representación o formato y asegúrese de que no era necesaria.							
e) Comprueba con tus compañeros si hay acuerdo sobre el método de transformación y el resultado final.							
Categoría	Valoraciones						Características observables
(D) Manipular o Transformar (Exactitud)	Convirtió información/datos de una forma a otra.						Ha comunicado el significado correcto o previsto de la información en la nueva representación o formato.
	0	1	2	3	4	5	Todas las características relevantes de la información/datos originales se presentaron en la nueva representación o formato.
	No hay evidencia	Incorrectamente		Algunos errores		Correctamente	Realizó la transformación sin errores.
							Otra:
							Otra:
Sugerencias para mejorar:							
a) Anote las características que deben incluirse en el nuevo formulario.							
b) Asegúrese de haber interpretado cuidadosamente la información original y de haberla trasladado al nuevo formato.							
c) Verifique cuidadosamente que la información original esté correctamente representada en el nuevo formato.							
d) Verifique la exactitud de la transformación con otros.							

Fuente: ELIPSS (2017a). Traducido por el Autor.

La rúbrica ilustrada en la Tabla 3, muestra cuatro categorías, así como los indicadores que dan cuenta de la evidencia a través de las características observables en cuanto al análisis de los reportes entregados por los equipos de trabajos o desde la interacción de los educandos dentro del aula de clases. Adicionalmente, en cuanto a las categorías expuestas en dicho material Reynders *et al.* (2020) expone lo siguiente:

- Evaluar*: todas las piezas de información propuestas a los educandos (en preguntas de un examen o tareas) no siempre son esenciales; por tanto, se esperaría que ellos indicarán el qué y porqué seleccionaron información que es o no es relevante para cumplir con la

asignación dada. Esto podría verificarse indirectamente desde los productos entregables por los estudiantes, verificando información omitida o no relevante; o que el facilitador los invitará a justificar sus acuerdos (p.7).

- b) *Interpretar*: aunado a la anterior categoría, los estudiantes generalmente interpretan datos o información presentada por el facilitador en una determinada situación; lo cual los lleva a realizar inferencias, hipótesis, observar y extraer patrones o explicar una definición teniendo en cuenta sus conocimientos previos. Lo anterior, puede observarse cuando el facilitador le solicita al equipo expresar y consolidar con el uso de sus propias palabras especificar y detallar una determinada definición alrededor de una pieza de información presentada; o exponer lo que entiende frente a información rotulada (por ejemplo, en los gráficos, tablas, etc.) (p.7-8).
- c) *Manipular y transformar*: otra asignación que se podría solicitar a los estudiantes es la manipulación y transformación (M y T) de una determinada información; lo cual puede involucrar la realización de un gráfico desde un texto o viceversa, o en expresiones (sean, por ejemplo, matemáticas o ecuaciones químicas). Por supuesto, esto implica que la M y T sea completa y exacta, pues puede que los educandos transformen poca información de forma adecuada, o por el contrario se haría inexactamente (p.8).

Todo lo anteriormente mencionado, en palabras de Cole *et al.* (2018) y Reynders *et al.* (2020) conlleva a que el facilitador esté atento a los ET con el fin de realizar constante retroalimentación formativa, para reorientar, en caso de ser necesario, las formas en que los estudiantes estén interactuando, observando o interpretando las actividades -que contienen los modelos diseñados por el profesor-, mejorar su desempeño, despejar dudas, para que vaya hacia el cumplimiento de los logros de aprendizaje (-de contenido y -de proceso) planteados por el facilitador. Esto con el fin de construir el conocimiento alrededor de acuerdos entre la interacción estudiante-estudiante y en caso de que requiera facilitador-equipo de trabajo; y que lleve a la reflexión acerca del compromiso hacia el cumplimiento de un determinado resultado.

6.1.3. El modelo de procesamiento de información (MPI).

Hanson, (2008), Lamba (2008), Simonson (2019) mencionan que el MPI propuesto por Alex Johnstone ha tenido implicaciones educativas en métodos como el POGIL, así como en la praxis profesional educativa relacionada con la estructuración de material educativo, presentación de temas por ejemplo de Química orgánica, estructuración de prácticas de laboratorio, sobrecarga de información -presentación de varios conceptos a los aprendices en un tiempo tan corto-, reflexión por parte de los profesores ante su rol, diseño de estrategias de enseñanza-aprendizaje, investigación educativa, la evaluación y el lenguaje..

Lamba (2008, p.28) y Hanson (2008, p.15) exponen que el MPI, representado en la Figura 6, es un modelo cognitivo de aprendizaje que representa un proceso complejo relacionado con proceso mental en cuanto a la adquisición de un nuevo conocimiento. Su punto de partida es la información percibida, pasa a través de un sistema filtro, y su destino final es el almacenamiento en la memoria de largo plazo. Según ello, se presentan constantes interacciones entre la memoria de trabajo -donde se reorganiza, compara, interpreta-, el filtro y la memoria de largo plazo -MLP- Lamba (2008, p.31). Si la información o situación es presentada de nuevo, es reconocida inmediatamente puesto que se encontraba alojada en la MLP.

Añadiendo a ello, la mayoría de los eventos percibidos son ignorados por el individuo debido al sistema de filtración y al límite de piezas de información que puede almacenar la memoria de trabajo; lo cual se relaciona con las experiencias previas y relevantes para el individuo (Hanson, 2008).

Agrega Lamba (2008) que al enfrentarse el ser humano a una situación o evento nuevo el sistema filtro interactúa con los conocimientos previos presentes en la memoria de largo plazo –donde se da la selección de información-; el autor expone que el aprendizaje se da cuando el nuevo conocimiento es construido sobre lo conocido, y que puede unirse con los conocimientos previos (p.29).

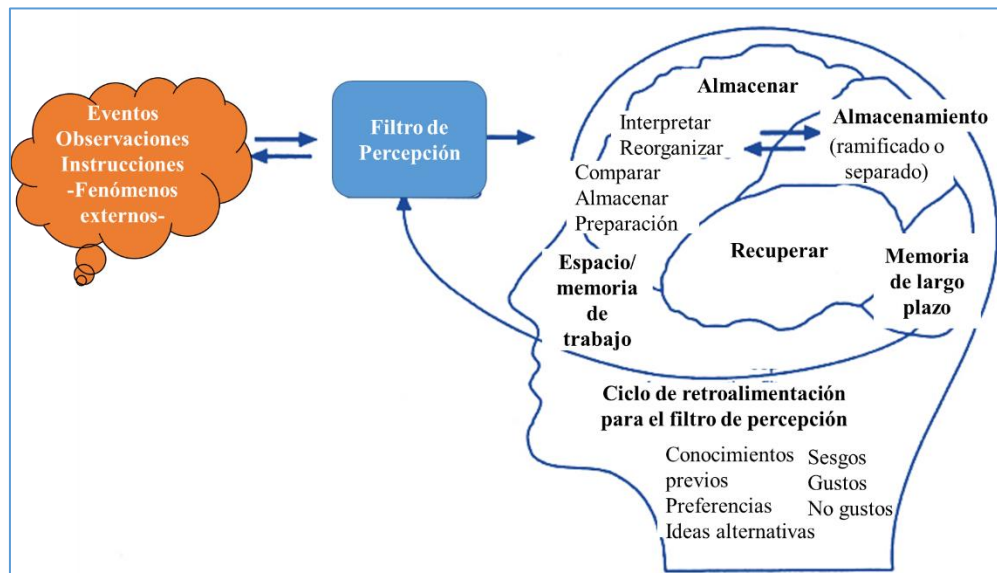


Figura 6. MPI.

Fuente: tomado y adaptado de Lamba (2008).

Igualmente, Johnstone *et al.* (1994) en su artículo titulado “An Information Processing Model of Learning: its application to an undergraduate laboratory course in chemistry” presentó los resultados de la aplicación del MPI para evaluar la efectividad en la realización de algunos cambios metodológicos en un curso de Química inorgánica universitaria. El MPI sugerido por los autores permitió trazar la planeación del trabajo del laboratorio, los cambios a realizar y la ruta de trabajo apropiada. De acuerdo con el MPI los autores resaltaron tres aspectos claves que lo envuelven: percepción y atención, memoria de trabajo y memoria a largo plazo.

En suma, Johnstone (1997) en su manuscrito “Chemistry Teaching-Science or Alchemy?” resaltó la importancia del MPI como un modelo de trabajo para las futuras investigaciones y avance de la educación en Química (diseño de actividades de clases, trabajos prácticos de laboratorio, diseño curricular), exponiendo que el mismo se basa en el trabajo colaborativo de psicólogos, pedagogos, trabajadores de inteligencia artificial y comerciantes.

6.1.4. Algunas sugerencias metodológicas en cuanto a la implementación del método POGIL.

No hay una única forma de implementar el método POGIL en el aula de clases; dado que cada facilitador o institución planea su intervención educativa. Sin embargo, se deben tener presentes estos aspectos (Vishnumolakala, 2013; Simonson, 2019):

- a) El trabajo en equipo -3 o 4 miembros- con roles definidos.
- b) Uso de actividades POGIL.
- c) Las actividades se realizan durante la clase, con el facilitador presente.
- d) Promoción de una o dos habilidades de proceso.
- e) Retroalimentación constante en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Vale la pena mencionar que, los pequeños ET son conformados al azar, o de acuerdos a sus habilidades o desempeño. Los roles que usualmente se presentan son 4: mánager, vocero, analista de calidad y analista de procesos. Con relación a los roles POGIL sus funciones el investigador se apoyó en material alojado y divulgado por autores como CS-POGIL (2017); Washington University in St. Louis Center For Teaching and Learning [CTL-WUSTL] (2020a); Eastern Florida State College (2021) para el diseño de las tarjetas (estas pueden consultarse en el apartado de Anexos).

Dicho roles fueron planteados por los investigadores POGIL debido a los ET que usualmente se conforman en un ambiente laboral, académico o científico usando los mismos (Hanson, 2013; POGIL, 2021).

En la Figura 7 se presentan algunas sugerencias en cuanto al diseño y estructura de actividades de clase POGIL de acuerdo con POGIL (2021):

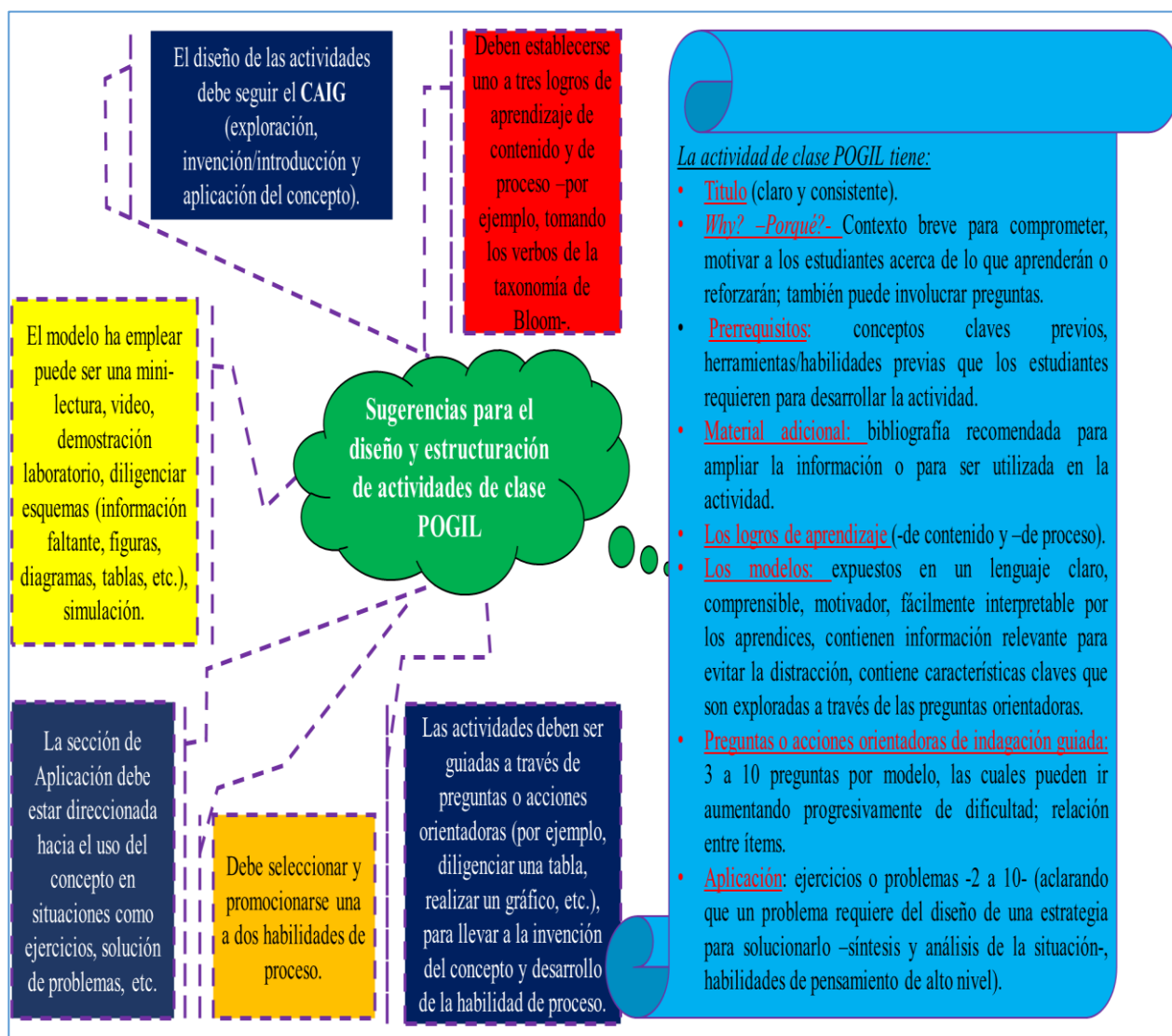


Figura 7. Sugerencias para el diseño y estructuras de actividades de clase POGIL.

Fuente: elaborado a partir de Hanson (2013); López-Bernabéu *et al.* (2018); POGIL (2021); PAC (2021).

Cabe añadir, que uno de los retos que podría probablemente presentarse en la implementación es que en el aula de clases haya estudiantes que habitualmente les guste trabajar solos, o que su percepción frente al trabajo en equipo no sea la mejor. Sin embargo, el profesor debe enfatizar la importancia de este, una habilidad que más adelante se verá reflejada en las carreras donde ingresen los educandos o trabajos profesionales (Czajka *et al.*, 2021).

Por otro lado, se han reportado importantes hallazgos en cuanto a la implementación del POGIL en diversas disciplinas, por ejemplo, Finanzas, Matemáticas, Anatomía, Fisiología, Farmacia, Biología, Bioquímica, Fisicoquímica, Química inorgánica; donde su uso se ha hecho en instituciones educativas de formación universitaria inicial (86%), seguida en estudiantes graduados y/o profesionales y secundaria (7%). Para evaluar la efectividad del POGIL, se han aplicado diseños investigativos cuasi-experimentales relacionados con grupos control, donde se aplicó el POGIL y por otro lado la metodología tradicional de enseñanza; lo cual implicó el uso de pruebas estadísticas para analizar el efecto de la estrategia en términos del aprendizaje (por ejemplo, ANOVA, t student, etc.) (Lo y Méndez, 2019; Rodríguez *et al.*, 2020).

Vale la pena mencionar en términos de CTL-WUSTL (2020b) que el trabajo en equipo delegando roles puede ser una estrategia de enseñanza-aprendizaje benéfica, debido a que se fortalece la interacción entre cada uno los integrantes teniendo presente las funciones concretas asignadas, que los hace centrarse en la actividad, discutir al respecto para llegar acuerdos, comprometerse (responsabilidad), reforzar las habilidades comunicativas; así como alternando los roles en las próximas sesiones.

Por varios años el uso de situaciones socio-ambientales se ha ido convirtiendo en una estrategia de enseñanza-aprendizaje, manejada en la gran mayoría de currículos de QA; aunado a métodos como indagación guiada para promover o fortalecer habilidades procedimentales, interpretación de información y la motivación de los estudiantes (White *et al.*, 2020). Para el caso de propuestas dirigidas a la enseñanza de las MCI en EAA usando estrategias como la indagación guiada en niveles universitarios son pocos los trabajos desarrollados y divulgados en la literatura según White *et al.* (2020); lo anterior, con el fin de ilustrar la importancia de esta en escenarios (académicos, industriales, científicos) donde los educandos tendrán que aplicarlas.

6.2. Marco conceptual Disciplinar.

6.2.1. Los residuos colágenicos de las curtiembres: las virutas del WB.

Las industrias de curtiembres representan un importante renglón de la economía en países a nivel mundial como Colombia, India, Brasil, Argentina, México, China, Italia, Francia, Etiopía, España, entre otros (Likmyeleh-Deriso, 2014; Rodríguez, 2014; Milena, 2020). Su actividad industrial está relacionada con la manipulación y transformación de las pieles de animales (bovinos, caprinos, conejos, cocodrilo, caballos, etc.) estabilizadas fisicoquímicamente, con el fin de producir elementos de uso cotidiano relacionados con zapatos, cinturones, bolsas, suelas, chaquetas, guantes (Likmyeleh-Deriso, 2014; Rodríguez, 2014; García y Ramírez, 2019; Milena, 2020). De acuerdo con Gómez (2019) a nivel mundial existen más de 5513 industrias de curtiembres; para el caso de Colombia, se encuentran 584 y en Bogotá D.C se hallan 350.

La expansión de este tipo de sectores -sea de forma artesanal o industrial-, generalmente involucra la producción de importantes residuos sólidos, líquidos y gaseosos durante el proceso manufacturero. Los residuos generados incluyen restos de piel en bruto “unche”, virutas cromadas, pelo, grasas “sebo”; asimismo, aguas residuales entre 20 m³ a 100 m³ por cada tonelada de piel cruda procesada (la cual contiene una alta carga de contaminantes orgánicos e inorgánicos debido a las sustancias químicas empleadas, tales como sales, ácidos, sosas, enzimas, etc.); finalmente, gases como el H₂S, CH₄, CO₂, CO, NO_x, SO_x, ácido carbónico, amoníaco (Rodríguez, 2014; Milena, 2020).

El proceso de transformación de las pieles de animales sacrificados implica sendas etapas mecánicas, manuales y químicas (lavado, remojo, humectado, escurrido, sulfurado, división, purgado, piquelado, curtido, acidificación, neutralización, teñido) agrupadas en procesos conocidos como ribera, piquelado, curtido, recurtido, rebajado y teñido (Rodríguez, 2014; García y Ramírez, 2019).

El curtido refiere a una etapa donde se busca estabilizar el colágeno en la piel para que no se descomponga o se genere putrefacción de esta; para que posteriormente, se pueda manejar y moldear (Likmyeleh-Deriso, 2014; García y Ramírez, 2019). Para ello se emplean los denominados agentes curtientes (AC), que pueden ser orgánicos o minerales, por ejemplo, sales (Cr, Si, Ti, Al, Zr, etc.), extracto de castaño, mimosa y quebracho (Rodríguez, 2014; García y Ramírez, 2019) donde las fibrillas de colágeno lo absorben (Rodríguez, 2014). El tipo de AC le transfiere un color particular a la piel, que, para el caso de la piel curtida con sales de Cr (III), se obtienen las llamadas pieles húmedas azuladas o WB (Rodríguez, 2014).

En este tipo de etapas, las aguas generadas particularmente tienen concentraciones de Cr total superiores a 2307 mg/L, sobrepasando los límites máximos permisibles que para el caso de Colombia corresponde a 1,50 mg/L en la Resolución 0631 de 2015 del Ministerio de Ambiente y desarrollo (MADS) (García y Ramírez, 2019).

Particularmente en el rebajado de la piel curtida, la cual consiste en una etapa mecánica haciendo uso de una máquina llamada rebajadora donde se ajusta el espesor o calibre uniforme deseado (Likmyeleh-Deriso, 2014; Cadena, 2017; Milena, 2020). Para el caso de pieles curtidas al cromo, se obtienen *las virutas o rebajaduras cromadas o WB* (Rodríguez, 2014; Yorgancioglu, 2020). Con respecto a este tipo de residuo colagénico, del procesamiento de 1000 kg de piel salada, 15 m³ – 50 m³ de agua, y 500 kg de materias primas químicas, se producen 450 kg a 730 kg de residuos sólidos, donde aproximadamente 225 kg corresponden a las virutas (Rodríguez, 2014); en otros estudios se reportan la producción de 991,411 kg/año (Likmyeleh-Deriso, 2014).

Las virutas del WB contienen alrededor de 21,63 g a 23,17 g de Cr₂O₃ por cada kilogramo de rebajadura, así como 8 µgCr(VI)/kg, pH 3,43 (Likmyeleh-Deriso, 2014). Adicionalmente, se caracterizan por tener una importante cantidad de colágeno (75% - 85%), estructura de fibras organizada, y una considerable concentración de Cr(III) (Cadena, 2017; Shakilaniishi *et al.*, 2017). Con relación a su composición, en la Tabla 4 se detallan algunos valores y parámetros reportados en algunos trabajos investigativos:

Tabla 4. Composición fisicoquímica de las virutas cromadas según algunos estudios investigativos encontrados al respecto.

Investigadores mencionados al respecto.					
Autores	Ozgunay <i>et al.</i> (2007, p.870)	Cadena (2017, p.31)	Haile-Tesema (2018)	Morsy y Nasr (2018)	
Parámetro/ Procedencia de la viruta	<i>Virutas cromadas de piel de oveja</i>	<i>Virutas WB de piel de cabra</i>	<i>Virutas WB –no se especificó la piel de procedencia-</i>		
%Humedad	66,01	63,99	44,74 – 47,10	35,10 – 47,6	10,24
%Cenizas	**	**	5,54 – 5,88	5,21-8,65	12,37
% Grasa	2,40	0,85	0,15	1,50	**
% C	**	**	38,04	**	0,29
% H	**	**	6,77	**	**
% N total	60,30	61,20	13,61	13,50 -16,40	12,66

Autores	Ozgunay <i>et al.</i> (2007, p.870)	Cadena (2017, p.31)	Haile-Tesema (2018)	Morsy y Nasr (2018)
% S	**	**	1,12	**
% Proteína	**	**	85,06	**
% Cr total	1,45	1,45	10,10	2,73 - 3,12
% Sal	4,65	3,95	**	**
pH	3,93	4,28	3,03	3,33 – 3,63
% Cr(VI)	**	**	0,23 – 0,35	**
Elucidación de grupos funcionales presentes en las virutas cromadas por la técnica IR	**	**	Presencia de N-H (3440cm ⁻¹); 1540cm ⁻¹ (N-H); C- N (1440 cm ⁻¹); 1640 cm ⁻¹ (C=O)	Estiramiento OH (3466 cm ⁻¹); 2919cm ⁻¹ (estiramiento C-C anillo); estiramiento C-N y enlace N-H (1401 cm ⁻¹); 1615 cm ⁻¹ (amida estiramiento C=O); señales atribuidas al colágeno.
**No reportó				

Fuente: elaborado a partir de Ozgunay *et al.* (2007, p.870); Cadena (2017, p.31); Haile-Tesema (2018); Morsy y Nasr (2018).

En complemento, el colágeno corresponde a una proteína del tejido conectivo y órganos que abunda en organismos vertebrados; siendo el 25% al 30% el constituyente del total de la proteína animal y humana. Su extracción –sea por métodos ácidos, enzimáticos, alcalinos- ha tenido múltiples aplicaciones entre las que se encuentran: formulaciones farmacéuticas, alimentos, cosméticos, etc. (Shakilanishi *et al.*, 2017; Owczarzy *et al.*, 2020; Bayramoglu y Kaptanoglu, 2021). Este tipo de proteína es responsable de la elasticidad, integridad y resistencia de los tejidos, jugando importantes roles en la regeneración, crecimiento de estos (por ejemplo, los tendones, cartílago, ligamentos, huesos, músculos); hoy en día, se conocen más de 29 tipos de moléculas proteicas (Bayramoglu y Kaptanoglu, 2021).

De acuerdo con Bayramoglu y Kaptanoglu (2021, p.17) la unidad base de dicha proteína es la α -hélice molécula de mano izquierda conformada por tres cadenas polipeptídicas enrolladas en espiral; donde los aglomerados se unen a través de interacciones laterales electrostáticas e hidrofóbicas. Dichos autores exponen que el colágeno está conformado mayoritariamente por aminoácidos como glicina (Gly), -35%-, prolina (Pro) -12%-, y en menor proporción arginina (Arg), ácido glutámico (Glu), ácido aspártico (Asp), alanina (Ala), lisina (Lys) e hidroxiprolina (Hyp). La secuencia de aminoácidos que frecuentemente se da es Gly-Pro-Hyp (Bayramoglu y Kaptanoglu, 2021, p.17).

En adición, algunos de los tipos de colágeno y su localización corresponden a: tipo I (corneas, tendones, huesos, piel); II (cartílago, cuerpo vítreo); III (útero, piel, intestino, vasos); V (huesos, piel, placenta, cornea), etc. (Bayramoglu y Kaptanoglu, 2021, p.19).

En la Figura 8, se ilustra la estructura del colágeno, la secuencia de los aminoácidos (AAS) principales que lo componen, así como sus estructuras; adicionalmente, se presenta la interacción

presentada entre el Cr y los grupos que componen la proteína (Yorgancioglu, 2020; Parisi *et al.*, 2021):

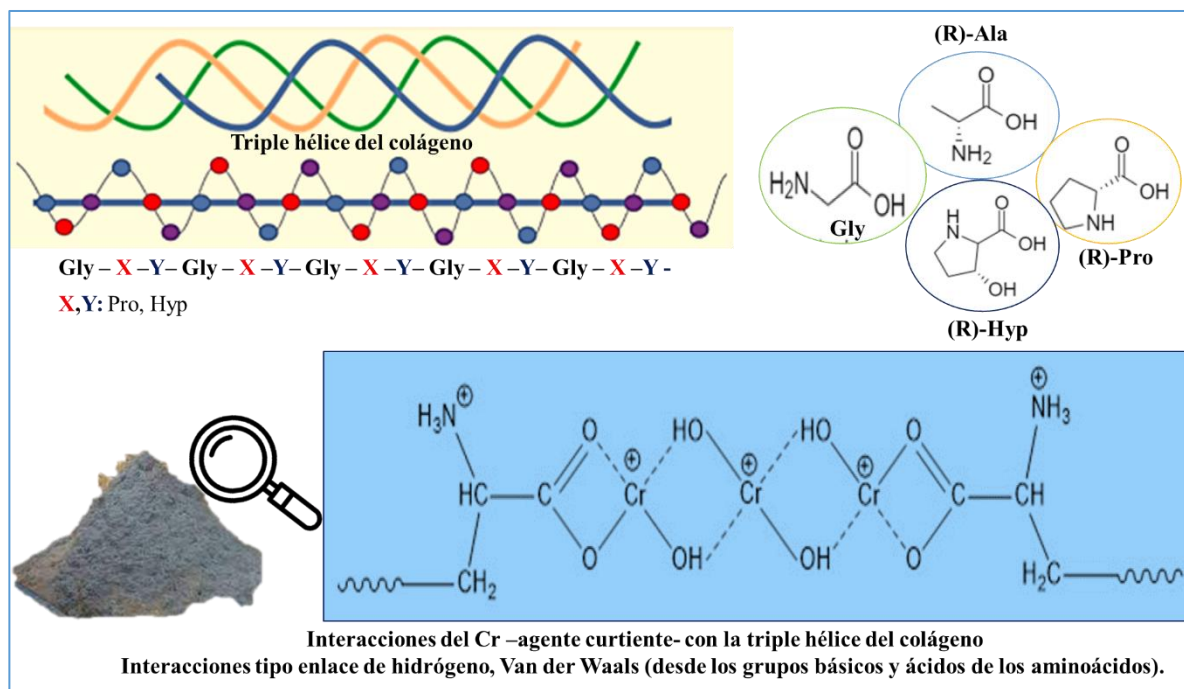


Figura 8. Estructura del colágeno, secuencia AAS principales e interacción Cr-colágeno.
Fuente: tomado y adaptado de Parisi *et al.* (2021, p.4).

Es importante mencionar que este tipo de residuos sólidos son dispuestos generalmente en rellenos sanitarios sin algún tratamiento fisicoquímico previo; por otro lado, se incineran, o son dispuestos directamente en lugares aledaños a la comunidad recolectados en bolsas o recipientes, incluso algunos llegan a fuentes hídricas superficiales cuando son desechados a través del sistema de alcantarillado (Rodríguez, 2014; Yorgancioglu, 2020). La disposición de este tipo de biomaterial genera importantes situaciones socioambientales, pues su descomposición genera emisiones como NO_x , CO_2 , Compuestos Orgánicos Volátiles (COVS). Por otro lado, contaminación del suelo cuando es dispuesto directamente, aportado materia orgánica, infiltración de metales pesados como el Cr, en especial, la forma iónica $3+$, que podría llegar a fuentes de aguas subterráneas; por último, el incremento de sólidos en los cuerpos hídricos donde se encuentra alojado, demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (Rodríguez, 2014; Yorgancioglu, 2020).

Por tanto, la valorización está relacionada con un nuevo beneficio o utilidad de un determinado residuo (sea sólido, líquido, gaseoso) frente a otro material que tenga aplicaciones similares; esto con el fin de reducir los efectos a corto, mediano y largo plazo sobre el ecosistema, y propenda hacia el fortalecimiento de las esferas del desarrollo sostenible (ambiental, económico y social). También hacia el aprovechamiento de los materiales producidos, con el de potencializar su recuperación, reciclado y uso (Cadena, 2017; Rigueto *et al.*, 2020).

La valorización de las virutas WB está relacionada con el tratamiento de efluentes contaminados con metales pesados, compostaje, elaboración de jabones, extracción de queratina, fertilizantes orgánicos, industrias de cárnicos para embutidos, producción de biocombustible – biodiesel-, juguetes caninos, cápsulas de medicamentos, materiales absorbentes, producción energética –biogas- (Likmyeleh-Deriso, T., 2014; Rodríguez, 2014; Milena, 2020; Rigueto *et al.*,

2020). Este aspecto es importante con el fin de generar un desarrollo sostenible alrededor de los ejes *ambiental* (disminución de los efectos sobre el agua, el suelo, el aire, la energía, producción más limpia, salvaguardar la salud ambiental y humana), *hídrico* (reúso de las aguas residuales dentro o fuera de las empresas, o el vertimiento de las aguas con depuración previa cumpliendo con las regulaciones vigentes), y el *económico* (generación de trabajo, venta de los residuos, economía circular, etc.) (García y Ramírez, 2019; China *et al.*, 2020).

Por tanto, es necesario comenzar a revalorizar los residuos generados en actividades como la mencionada que en términos de Milena (2020) representan un factor adicional económico ante situaciones como las que se están suscitando por casos como la COVID-19; con el fin de generar ingresos, rentabilidad y sostenibilidad dentro y fuera de las empresas dedicadas a esta labor.

6.2.2. El cromo (Cr).

El Cr puede estar presente en diversas formas químicas desde estados de oxidación cero hasta seis (Likmyeleh-Deriso, 2014). Particularmente, el Cr(III) es una de las especies químicas frecuentemente más presentes en el ambiente. Las materias primas que contienen Cr tienen aplicaciones en la elaboración de aceros, aleaciones, cromado, platinado, colorantes, curtiembres, minería, galvanoplastia, pinturas, electrónica, conservantes de la madera (Likmyeleh-Deriso, 2014; Tejada-Tovar, 2015; Gómez, 2019); asimismo, el cromo se encuentra catalogado como uno de los trece metales tóxicos de mayor preocupación según la OMS (2011) y Wang & Chen (2009).

El Cr en su estado de oxidación 3+ a concentraciones moderadas es un elemento esencial no tóxico para el cuerpo humano (Likmyeleh-Deriso, 2014; Gómez, 2019). Sin embargo, el Cr(VI) es una especie química carcinogénica, teratogénica y mutagénica, que puede ocasionar lesiones renales, cáncer de pulmón tras una larga vida de exposición (Gómez, 2019). El Cr(VI) la cual puede generarse por oxidación del Cr(III) en presencia de óxidos de Mn, incluso condiciones oxidativas fuertes en medios básicos o ácidos –por ejemplo, en presencia de cloro, bromo, peróxidos (de sodio, de hidrógeno)- (Likmyeleh-Deriso, 2014).

Asimismo, el Cr(VI) generalmente es liberado al ambiente por actividades industriales; por otro lado, se puede encontrar en sustancias químicas en sales como el K_2CrO_4 , $K_2Cr_2O_7$, Cr_6O_3 , $PbCrO_4$ (Likmyeleh-Deriso, 2014).

El Cr a elevadas concentraciones no es biodegradable; en organismos vivos tienden a bioacumularse. Adicionalmente, puede causar úlceras estomacales, problemas respiratorios, daño en el hígado, debilitamiento del sistema inmune (Likmyeleh-Deriso, 2014; Tovar-Tejada *et al.*, 2015).

En organismos como las plantas, el cromo puede afectar la fotosíntesis, particularmente la especie +6 puede repercutir en la producción de pigmentos fotosintéticos y el crecimiento de las raíces (Likmyeleh-Deriso, T., 2014); en el caso de los seres humanos, en cualquier de las formas de Cr puede producir alergias, erupciones cutáneas, en estudios de trabajadores quienes se vieron expuestos al Cr(VI) se observó daños sobre los sentidos del olfato, la visión, vías respiratorias (Likmyeleh-Deriso, 2014).

Algunas técnicas dirigidas al análisis de Cr comprenden el uso de métodos de absorción, 1,5 difenilcarbazida para la cuantificación de Cr(VI), EAA empleando la llama como fuente de atomización para determinar Cr total; precipitación de iones crómicos empleando hidróxido de amonio, donde se obtiene $Cr(OH)_3$ que luego se calcina y se pesa como Cr_2O_3 ; reducción del especies $(Cr_2O_7)^{2-}$ en presencia de una cantidad suficiente de $FeSO_4$ y valorando el exceso de esta última con permanganato de potasio; por último, reduciendo el ión dicromato con exceso de KI y titular el yodo liberado con una disolución estandarizada de tiosulfato de sodio (Hamilton *et al.*, 1992).

Con respecto a algunas técnicas de tratamiento de aguas dirigidas a la remoción de Cr se encuentran la precipitación química, intercambio iónico, electrodiálisis, adsorción (carbón activado), ósmosis inversa; aunque son bastante eficientes, sus desventajas están relacionadas con costos

económicos en su implementación y mantenimiento, generación de lodos (Nishad-Fathima *et al.*, 2014).

6.2.3. Bioadsorción y sus COS.

Debido a las ventajas y desventajas que se han reportado en la literatura con relación a las diferentes tecnologías convencionales y algunas no convencionales, en este caso, destinados para el tratamiento de las aguas, el campo de la adsorción empleando materiales derivados de residuos agrícolas, de las curtiembres, biomasa (-viva, -no viva) ha tomado bastante atención (Wang y Chen, 2009; Leyva-Ramos, 2007; Rodríguez, 2014; Tejada-Tovar, 2015; Sahoo y Prelot, 2020). Lo anterior, para disminuir la polución generada por contaminantes orgánicos, inorgánicos y microbiológicos que pudieran estar presentes en las aguas empleadas en las industrias o las municipales (por ejemplo, metales pesados, pesticidas, COVS colorantes, productos farmacéuticos, etc.) (Wang y Chen, 2009; Leyva-Ramos, 2007). Adicionalmente, revalorizar los materiales originados que no tienen algún uso adicional en los procesos manufactureros (Tejada-Tovar *et al.*, 2015).

Aunque las tecnologías convencionales –por ejemplo, el uso la precipitación química, filtración, intercambio iónico, tecnologías de membrana, evaporación, reacciones fenton, fotocátalisis, electrocoagulación, osmosis inversa, etc.- han presentado importantes ventajas relacionadas con su alta eficiencia en el tratamiento de las aguas, las desventajas se relacionan con su alto costo de implementación, mantenimiento y generación de lodos activados. A diferencia de la bioadsorción -también denominada tecnología limpia o verde-, es amigable con el ambiente, no produce lodos biológicos, se reduce el uso de productos químicos, eficiente, económica, posible recuperación de los metales y regeneración del sorbente, y en la gran mayoría de casos es de fácil adquisición (Wang y Chen, 2009; Tejada-Tovar *et al.*, 2015; Sahoo y Prelot, 2020; Gómez, 2019).

En primer lugar, la adsorción refiere a un fenómeno de superficie, donde las sustancias presentes en una matriz líquida, sólida o gaseosa (denominados adsorbatos) interactúan con el sistema sólido (llamado adsorbente) (Leyva-Ramos, 2007; Rodríguez, 2014; Mesías, 2019). Este tipo de proceso puede presentarse entre fases líquida-líquida, sólida-gas, líquida-gas y sólida-líquida (Mesías, 2019).

Las COS dependerán del tipo de contaminante a remover, la concentración del sorbato, volumen de agua, temperatura, presión, agitación, pH, porosidad del material, tamaño de partícula, tiempo óptimo, modificación fisicoquímica del material sorbente (Leyva-Ramos, 2007; Rodríguez, 2014).

Al emplear biomasa o material biológico (-vivo, -no vivo) como sistemas adsorbentes en procesos de descontaminación -ya sea de metales, metaloides, compuestos orgánicos- presentes en la fase líquida, refiere a la biosorción (Wang y Chen, 2009; Tejada-Tovar *et al.*, 2015). Dichos biomateriales pueden ser algas, residuos agrícolas, hongos, biomasa de productos bacterianos, levaduras, entre otros (Wang y Chen, 2009; Tejada-Tovar *et al.*, 2015).

En este tipo de fenómeno superficial intervienen la fisisorción, la quimisorción y la sorción electrostática; la primera refiere a la adsorción física de tipo reversible debida la presencia de fuerzas de dispersión intermoleculares de atracción tipo Van der Waals; que, debido a su naturaleza débil, los sorbatos no se fijan sobre la superficie del adsorbente, se dan a temperaturas bajas, es exotérmica, genera multicapas (Leyva-Ramos, 2007; Rodríguez-Reinoso, 2007; Rodríguez, 2014; Mesías, 2019).

Con respecto a la segunda, son de tipo irreversible pues se da una reacción química, llegándose a formarse enlaces químicos –tipo covalente- entre los adsorbatos y los complejos superficiales del biosorbente; se caracteriza porque ocurren, generalmente, a temperaturas mayores a 200°C, energías de activación entre 10kCal/g-mol a 100kCal/g-mol, calores de adsorción elevados. Adicionalmente, este tipo de adsorción ocurre exclusivamente sobre cierto tipo de grupos funcionales o sitios activos presentes en la superficie del sorbente (Leyva-Ramos, 2007; Rodríguez-Reinoso, 2007; Rodríguez, 2014; Sahoo y Prelot, 2020).

Para el caso de la tercera, intervienen atracciones de Coulomb entre los centros activos cargados y los iones sorbidos que implica un intercambio iónico (Sahoo y Prelot, 2020).

Por último, los posibles de mecanismos de adsorción que implican las interacciones que se presentan entre el adsorbato y los sitios activos presentes en la superficie del adsorbente se encuentran: complejación, intercambio iónico, interacciones electrostáticas, microprecipitación, suspensiones (Wang y Chen, 2009; Sahoo y Prelot, 2020). Estos envuelven enlaces de hidrógeno, interacciones $\pi - \pi$, donación-receptor desde el punto de vista de la teoría de Lewis (ácido-base), electrodonadores y electroaceptores ($n-\pi$) (Sahoo y Prelot, 2020).

Como bien se mencionó en una oportunidad anterior, la adsorción, en este caso, en fase sólida-líquida se ve afectada por las siguientes condiciones expuestas en la Tabla 5:

Tabla 5. Condiciones que afectan el proceso de adsorción en fase sólida-líquida.

Factor que interviene en la biosorción		Descripción
<i>Propiedades texturales del adsorbente</i>	Tales como diámetro promedio de los poros, volumen de los poros, área específica (área interna de los poros y la externa de las partículas del sorbente).	Es importante que los materiales adsorbentes sólidos tengan un área de contacto considerable por cada unidad de masa. Por tanto, la porosidad y la estructura del material dependerán de la materia prima para producirlo, así como de su preparación y activación. Con respecto a la porosidad, se pueden clasificar en materiales con: microporos estrechos (0,70nm), microporos anchos (0,7nm – 2nm); mesoporos (2nm – 50nm); y macroporos (>50nm). El área superficial específica es proporcional de forma directa al proceso de sorción.
<i>Propiedades fisicoquímicas del sorbente.</i>	Carga superficial, concentraciones, tipos de sitios activos (grupos químicos o complejos superficiales), composición química, tamaño de partícula.	Al poner en contacto un sorbente sólido en una disolución acuosa, se produce una carga superficial (debido a las interacciones entre los iones presentes en la fase líquida y los sitios activos del biomaterial). Con respecto al pH del medio acuoso y la distribución de cargas generada, se obtiene información relevante en términos de la explicación del posible mecanismo de adsorción; adicionalmente, encontrar el denominado pH punto de carga cero (pHpcc) es clave, pues permite establecer a que valor aproximado la superficie del adsorbente es 0, cumpliéndose que pH óptimo < pHpcc (superficie positiva); pH óptimo > pHpcc (superficie cargada negativamente). Por otro lado, acerca de la química superficial de los materiales adsorbentes, sobresalen los grupos funcionales que los constituyen o también llamados sitios activos. Generalmente, los que están presentes corresponden a grupos oxigenados como el carbonil anhídrido, ciclo peróxido, carboxilo, lactonas, fenoles, carbonilo, éteres, pironas y crómenos, quinonas, lactoles, oxígeno, aminas, esterres, sulfhídricos, fosfatos. Los sitios activados pueden donar (sitios ácidos) o aceptar protones (sitios básicos).

Factor que interviene en la biosorción		Descripción
		Los sitios ácidos imparten carga negativa superficial (facilitando la adsorción de cationes por interacciones electrostáticas). A diferencia de los grupos básicos que dan carácter positivo a la superficie (facilitando la adsorción de aniones por interacciones electrostáticas).
<i>Características fisicoquímicas del adsorbato.</i>	Tamaño de la molécula, polaridad, solubilidad, composición química y concentración del sorbato en la disolución, especie iónica o no iónica.	Los sorbatos en la fase líquida pueden hallarse en forma iónica y no iónica. Por tanto, dependiendo de condiciones como el pH y la concentración pueden afectar sobre la adsorción, debido a las interacciones electrónicas que pudieran presentarse (atracción, repulsión, complejación), las especies químicas presentes dependiendo del pH, así como la saturación de los centros activos cuando las concentraciones de los adsorbatos son considerables. Con respecto a la solubilidad, puede afectar en la eficiencia de adsorción, debido a las probables interacciones adsorbato-solvente que pudieran presentarse.
<i>Características de la fase líquida</i>	pH, temperatura, fuerza iónica, polaridad del solvente, agitación.	La acidez de la fase líquida puede afectar considerablemente la adsorción del sorbato, pues influye en la carga superficial del adsorbente. Adicionalmente, afectan la especiación química iónica en la disolución acuosa, pues el sorbato puede aceptar o donar protones, o hidrolizarse. Adicionalmente, la temperatura puede afectar el equilibrio termodinámico en el proceso de adsorción, debido a las interacciones que se dan entre las moléculas en la fase líquida y la superficie del adsorbente; lo anterior puede favorecer el bioproceso al disminuir, aumentar o no la temperatura. En suma, la temperatura puede afectar la textura del biosorbente causándole un posible deterioro, lo cual puede afectar el proceso de adsorción.
<i>Cantidad del sorbente, tamaño de partícula del adsorbente; volumen de la fase líquida</i>	Dosis del adsorbente, agitación, mezclado.	En algunos casos reportados en la literatura se ha observado que al disminuir el tamaño de partícula del sorbente por molienda aumenta la capacidad de adsorción. Adicionalmente, se ha visto que al aumentar la cantidad de biosorbente aumenta la eficiencia, pues está relacionado con el incremento en la disponibilidad de sitios activos en la superficie del adsorbente. Asimismo, la agitación puede favorecer o inhibir las interacciones presentadas entre el adsorbato y la superficie del sorbente, dado que se busca establecer un equilibrio a lo largo de un determinado tiempo.

Fuente: elaborado a partir de Leyva-Ramos (2007, p. 157-158), Rodríguez-Reinoso (2007), Wang y Chen (2009); Tejada-Tovar *et al.* (2015); Mesías (2019); Sahoo y Prelot (2020).

La modificación fisicoquímica del adsorbente puede comprender la activación física y química; para el caso de la primera, en términos generales la pirolisis corresponde a un proceso térmico empleando un microondas u horno, donde se descompone el material en ausencia de oxígeno o cualquier otro elemento que lo contenga. En este proceso, se obtienen char “sólidos carbonosos” (Rodríguez, 2014). Con respecto a la segunda, refiere al uso de agentes químicos activantes -que pueden ser ácidos (H_3PO_4 , H_2SO_4 , HCl), álcalis (KOH , $NaOH$), sales inorgánicas ($CaCl_2$, $ZnCl_2$, K_2S , K_2CO_3)-, los cuales entran en contacto con el sorbente mejorando la estructura y la porosidad (Rodríguez, 2014).

De los materiales carbonizados resultantes en presencia de agentes químicos, se obtienen los carbones activados (los cuales corresponden a sólidos constituidos por carbono, presentan una estructura desordenada, con porosidad y área superficial interna elevada) (Rodríguez-Reinoso, 2007).

Vale la pena mencionar que, la **isoterma de adsorción** concierne a una relación matemática frente a la cantidad de adsorbato retenida por cada unidad de masa del sorbente como función de la concentración a temperatura y pH constante cuando se ha alcanzado el equilibrio (Leyva-Ramos, 2007; Rodríguez, 2014; Sahoo y Prelot, 2020). Aunque en la literatura se han expuesto diversos modelos matemáticos, los que más se han usado en adsorción en fase líquida-sólida son: Langmuir y Freundlich (Leyva-Ramos, 2007; Sahoo y Prelot, 2020). Algunos supuestos de dichos modelos se muestran en la Tabla 6; sin embargo, vale aclarar que no siempre se cumplen dichas afirmaciones, aunque los datos obtenidos se ajusten a las relaciones matemáticas tomando como criterio de ajuste el coeficiente R^2 cercano a 1 (Sahoo y Prelot, 2020).

Tabla 6. Algunas características de los modelos de Langmuir y Freundlich.

Modelo de Langmuir	Modelo de Freundlich
El calor de adsorción es igual para todos los sitios activos presentes en la superficie del adsorbente.	Aplica para superficies heterogéneas desde el punto de vista energético.
Cada adsorbato se une sobre cada sitio activo.	La distribución de la energía de la adsorción de los sitios es exponencial.
No existe una interacción entre los sorbatos laterales.	La masa de sorbato retenido por el biosorbente aumenta al incrementar la concentración del soluto en el equilibrio; esto, sin hacerse asintótica a elevadas concentraciones.
Formación de monocapas, donde cada sitio activo adsorbe un sorbato.	Formación de multicapas; la distribución energética para los sitios activos no es uniforme siguiendo una función exponencial.
Todos los centros activos tienen la misma energía.	Superficie heterogénea energéticamente, todos los sitios de enlace tienen diferentes energías.
El proceso de adsorción es reversible.	El proceso de adsorción es reversible.
Las dos expresiones matemáticas linealizadas de este modelo son:	La expresión matemática linealizada de este modelo es:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{K_L \times Q_m \times C_e} + \frac{1}{Q_m}$$

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L \times Q_m} + \frac{C_e}{Q_m}$$

Donde:

$$\log q_e = \log K_F + \left(\frac{1}{n}\right) \times \log C_e$$

Donde:

C_e (mol/L o mg/L): concentración en el equilibrio.

K_F : Constante de Freundlich –representa la capacidad de adsorción-.

$1/n$: Intensidad de la adsorción.

Modelo de Langmuir	Modelo de Freundlich
Q_m (mg/g o mol/g): capacidad máxima de adsorción. C_e (mol/L o mg/L): concentración en el equilibrio. K_L (L/g o L/mol): Constante de Langmuir (que representa la energía de sorción o la constante de equilibrio del sistema sorbente-sorbato).	
Adicionalmente, en este se modelo se puede aplicar el factor adimensional de separación R_L, el cual indica la favorabilidad o no del proceso de adsorción aplicando la siguiente expresión: $R_L = \frac{1}{1 + K_L C_e}$ Donde: $R_L = 1$: Adsorción lineal. $R_L > 1$: Adsorción no favorable. $R_L = 0$: Adsorción no reversible. $0 < R_L < 1$: Adsorción favorable.	Si el valor $1/n < a 1$ indica quimisorción. $1/n > 1$ señala adsorción cooperativa.
Fuente: Elaborado a partir de Leyva-Ramos (2007); Sahoo y Prelot (2020).	

Añadido a estos modelos, se obtienen importantes parámetros como es el caso de la capacidad máxima de adsorción o también denominado ($Q_{m\acute{a}x.}$), cuyas unidades generalmente son mg/g; este refiere a la cantidad de sorbato adsorbido en mg, por cada gramo de adsorbente (Leyva-Ramos, 2007; Mesías, 2019; Sahoo y Prelot, 2020).

Por otro lado, las cinéticas de adsorción refieren a modelos matemáticos que dan cuenta de la tasa aproximada del equilibrio presentado entre el adsorbato y el sorbente (Mesías, 2019); es decir, el tiempo requerido para alcanzar el equilibrio (Sahoo y Prelot, 2020). La información que aportan concierne a las posibles formas de sorción, el mecanismo inmerso, así como el diseño del sistema de adsorción. Sahoo y Prelot (2020, p.177) indican los siguientes pasos que intervienen en un proceso cinético de fase líquida-sólida expuestos en la Figura 9:

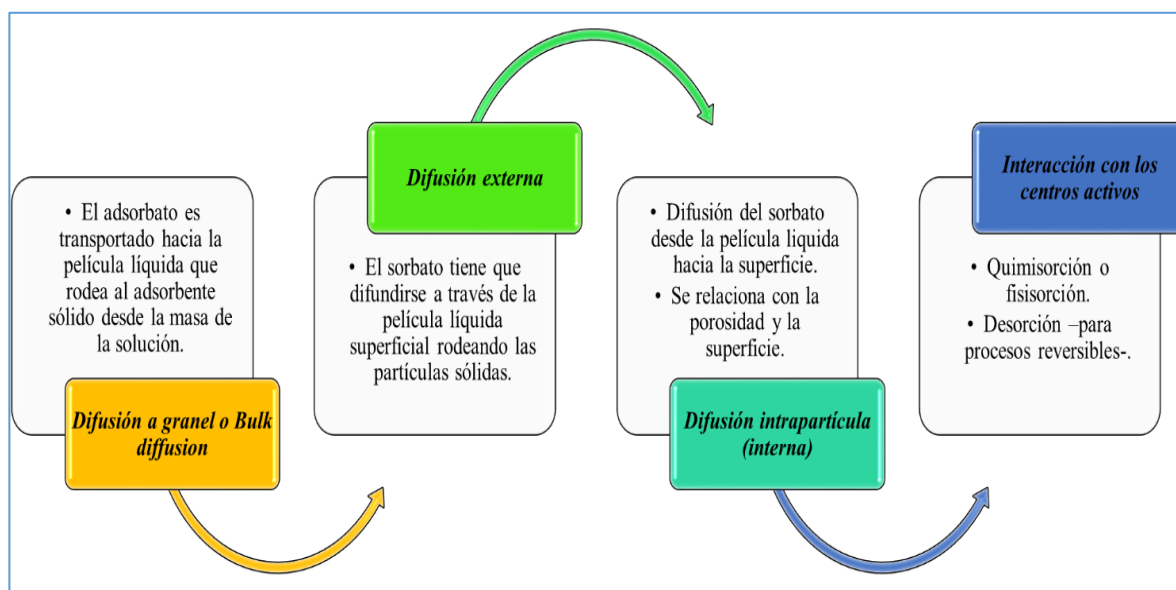


Figura 9. Pasos de intervienen en un proceso cinético en fase líquida-sólida.
Fuente: elaborado a partir de Sahoo y Prelot (2020, p.177).

Al igual que las isotermas, se han propuesto diversos modelos cinéticos, siendo el pseudo-primer orden (PPO) o de Lagergren y pseudo-segundo orden (PSO) o de Ho y McKay los que más se han reportado en la literatura (Sahoo y Prelot, 2020). El ajuste de los modelos, según los datos experimentales obtenidos obedecen al ajuste de estos a una línea recta desde el valor de R^2 lo más cercano a 1 (Sahoo y Prelot, 2020). Algunas de las suposiciones establecidas para dichos modelos se presentan en la Tabla 7:

Tabla 7. Características de los modelos cinéticos de pseudo-primer orden y pseudo-segundo orden.

Modelo cinético PPO o de Lagergren	Modelo cinético PSO o de Ho y McKay
Supone que la razón de cambio de la captación de solutos con el tiempo es directamente proporcional a la diferencia en la concentración de saturación y la cantidad de sólidos captados con el tiempo (p.177).	Supone que la etapa limitante de la velocidad es la sorción química o quimisorción, prediciendo el comportamiento en todo el rango de adsorción; por tanto, no depende de la concentración del sorbato sino de la capacidad de adsorción.
La expresión integrada que refiere al modelo corresponde a:	La expresión integrada que refiere al modelo corresponde a:
$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \left(\frac{K_1}{2,303}\right) \times t$ Donde: q_e (mg/g): cantidad de sorbato adsorbido en el equilibrio. q_t (mg/g): cantidad de sorbato adsorbido en el equilibrio en el tiempo t. K_1 (L/min): constante de razón en el equilibrio del PPO.	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{h} + \frac{t}{q_e}$ Donde: $K_2 \times Q_e^2 = h$: tasa de sorción inicial. q_e (mg/g): cantidad de sorbato adsorbido en el equilibrio. K_2 (g/mg·min): constante de razón en el equilibrio del PSO.

Modelo cinético PPO o de Lagergren	Modelo cinético PSO o de Ho y McKay
------------------------------------	-------------------------------------

Por lo general el PPO no aplica en un amplio rango de tiempo; generalmente entre 20min. - 30min. Si es así, la siguiente expresión puede ser utilizada:

$$\frac{1}{q_t} = \frac{K_1}{Q_1} + \frac{1}{Q_1}$$

Donde:

Q_1 (mg/g): capacidad de adsorción en el equilibrio.

q_t (mg/g): cantidad de adsorción en el tiempo t .

K_1 (1/min): constante de razón en el equilibrio del PPO.

Fuente: elaborado a partir de Sahoo y Prelot (2020).

Finalmente, el proceso contrario a la adsorción corresponde a la **desorción**; esta envuelve la regeneración del material empleado como sorbente, donde se produce una transferencia másica de los solutos o sorbatos presentes en el adsorbente a una disolución que actúa como agente eluyente o solución extractora. El uso de este tipo de agentes dependerá del tipo de interacciones químicas presentadas entre los solutos y los centros activos del sorbente, así como de la sustancia empleada (generalmente, se han utilizado ácidos inorgánicos –HCl, H₃PO₄, H₂SO₄-, alcális –NaOH, Ba(OH)₂-, acomplexantes –EDTA-); el pH, la agitación, la temperatura, la concentración, la fuerza iónica, entre otras condiciones. Con esta etapa inversa a la adsorción, se busca recuperar tanto el adsorbente como el soluto, el que se busca reincorporar a los ciclos productivos, según la aplicación para la que fue destinado.

Adicionalmente, este es uno de los aspectos que se han mostrado como futuras investigaciones en reportes de literatura que envuelven el uso de biomateriales como agentes remediadores de la polución en aguas residuales; unido a esto, se halla la selectividad y sensibilidad de los materiales, pues en la medida de lo posible se busca que los sistemas adsorbentes sean específicos para remover un determinado contaminante (sea en sistemas únicos o multicomponente), así para solutos que podrían hallarse a bajas concentraciones (Wang y Chen, 2009; Gómez, 2019; Sahoo y Prelot, 2020).

6.2.4. EAA.

La QA generalmente se subdivide en el análisis cuantitativo y cualitativo; para el caso del primero, se realiza el análisis de una determinada matriz o sistema analítico con el fin de determinar las proporciones en los compuestos o constituyentes están presentes –mayoritario (1%-100%), minoritario (0,01%-1%), trazas (100ppm) o ultratrazas (ppb o menor); con respecto al segundo, se determinan los compuestos presentes en la matriz analítica. LA QA, orientada hoy en día más hacia el lado cuantitativo, y aún más cuando diferentes áreas de investigación científica requieren resultados adecuados y que respondan a la necesidad según los análisis químicos de diversas matrices analíticas –por ejemplo, metales presentes en el agua, aire, suelo, sangre, tejidos animales y humanos, formas farmacéuticas, implementos de uso humano cotidiano, etc.- (Rubinson y Rubinson, 2001; Clavijo, 2002; Miller y Miller, 2010).

Por tanto, en este tipo de análisis intervienen la recolección de importante información, ya sean datos numéricos, observaciones, relaciones entre pesos y volúmenes, obtenidos de mediciones de masas, volúmenes, lecturas de señales analíticas (como la absorbancia), entre otros, de las sustancias químicas objeto de interés en el trabajo analítico a través de técnicas –principio útil de carácter científico que da cuenta de la composición de un determinado sistema o muestra analítica- (Christian, 2009).

Para el caso de los métodos de absorción, en donde el uso de fuentes de luz se ha utilizado como una forma de análisis químico. La invención en cuanto a los métodos instrumentales ha ampliado el horizonte en cuanto a la absorción en la gran mayoría de regiones del espectro electromagnético. Por supuesto, requiriendo de un tratamiento fisicoquímico específico a la muestra susceptible de ser analizada (Hamilton *et al.*, 1992; Perkin-Elmer, 1996). Por tanto, con el fin de asegurar la calidad y ofrecer resultados correctos en cuanto a una determinada matriz, es necesario conocer el problema (obtener información necesaria –aspectos conceptuales de los sistemas analíticos-); posteriormente, la recolección de la matriz (que relaciona la elección de la técnica y metódica, muestreo –que implica un conocimiento sobre la recolección, estadística base-); luego, la preparación de la muestra (adecuación de la matriz para analizar, disolución y reducción de las interferencias); calibración de los instrumentos; validación del método; realizar mediciones, efectuar cálculos y reportar los resultados (con análisis estadístico, límites de confianza e interpretación con conclusiones) (Rubinson y Rubinson, 2001; Clavijo, 2002; Miller y Miller, 2010). Ahora bien, no se mide directamente la concentración del analito de interés sino una propiedad específica (por ejemplo, la intensidad de luz) (Eurolab España, 2016).

Por tanto, una de las leyes fotométricas que gobierna los métodos de absorción es la ley combinada de Lambert-Beer-Bouguer, la cual en términos generalmente expresa la relación proporcional entre la absorbancia y la concentración: $A = abc$ o $A = \epsilon bc$ (siendo A: absorbancia, ϵ = constante de absorptividad molar – $L/(mol \times cm)$; a = absorptividad $L/(g \times cm)$; b: paso óptico (cm); c: concentración –ya sea mol/L o g/L-). Sin embargo, este tipo de leyes presentes desviaciones a la fotometría de tipo químico o instrumentales, relacionados con el efecto de los disolventes, la ionización, sensibilidad, para lo cual se debe buscar la proporcionalidad de la señal analítica y la concentración (Harris, 2010; Skoog, *et al.*, 2015).

Para el caso de la EAA, objeto de discusión de la presente investigación, es una de las técnicas analíticas instrumentales de mayor uso en cuanto al análisis de más de 60 especies iónicas metálicas; estas, presentes en muestras como minerales, agua, suelo, fluidos biológicos (sangre, saliva), cabello, uñas, etc. (Razmilic, 2021). Dependiendo del tipo de metales, grado de toxicidad y cantidad se elige un sistema apropiado de atomización para la muestra. Para el caso del presente trabajo, se remitirá a la atomización por llama, en la cual se genera vapor atómico -que contiene el analito de interés- en forma de átomos neutros (Harris, 2010; Skoog *et al.*, 2015; Razmilic, 2021).

Por tanto, para el caso de la absorción atómica (AA), sigue el siguiente proceso condensado en la Figura 10:

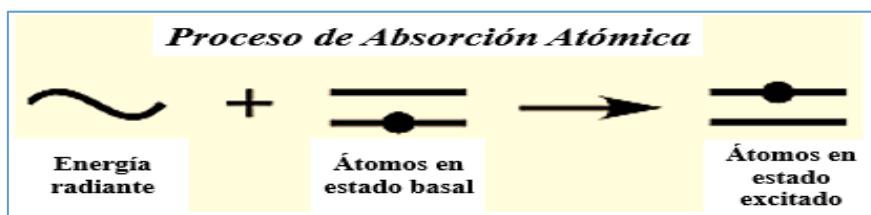


Figura 10. Proceso de AA.

Fuente: Tomado y adaptado de Perkin-Elmer Corporation (1996, p.4).

Con respecto a la Figura 10, la configuración electrónica más estable o de menor contenido energético de un átomo es su estado basal; al absorber la energía a una determinada longitud de onda el mismo entra a un estado excitado o promovido –donde la energía absorbida es proporcional al número de átomos-. En este nivel, al no ser estable el átomo, la libera a una determinada radiación de una frecuencia específica (longitud de onda de resonancia). Para el caso de AA la llama convierte la disolución de la muestra en vapor atómico, donde el analito presente interactúa con la luz proveniente de una fuente de luz –que puede ser una lámpara de cátodo hueco o lámpara de descarga- (Perkin-Elmer Corporation, 1996; Harris, 2010; Skoog *et al.*, 2015; Razmilic, 2021).

Vale aclarar que, en cuanto a la EAA-llama se presenta una excepción frente a la determinación de elementos metálicos altamente volátiles o que pueden formar óxidos tóxicos a altas temperaturas, entre los que se encuentran Hg, As, Se, Cd, Sb, Bi, Ge, Te, Tl, Sn, Pb, Ni, Ga; para los cuales conviene usar el Generador de Hidruros, Horno de Grafito, vapor frío (solo para mercurio) o ICP-MS (Plasma Acopado Inductivamente – Espectrometría de Masas) para realizar el análisis respectivo (Perkin-Elmer Corporation, 1996; Nicácio *et al.*, 2007; Phiri, 2017).

Con relación a la instrumentación en EAA, llamas más utilizadas, proceso de atomización, se ilustran en las Figuras 11 y 12:

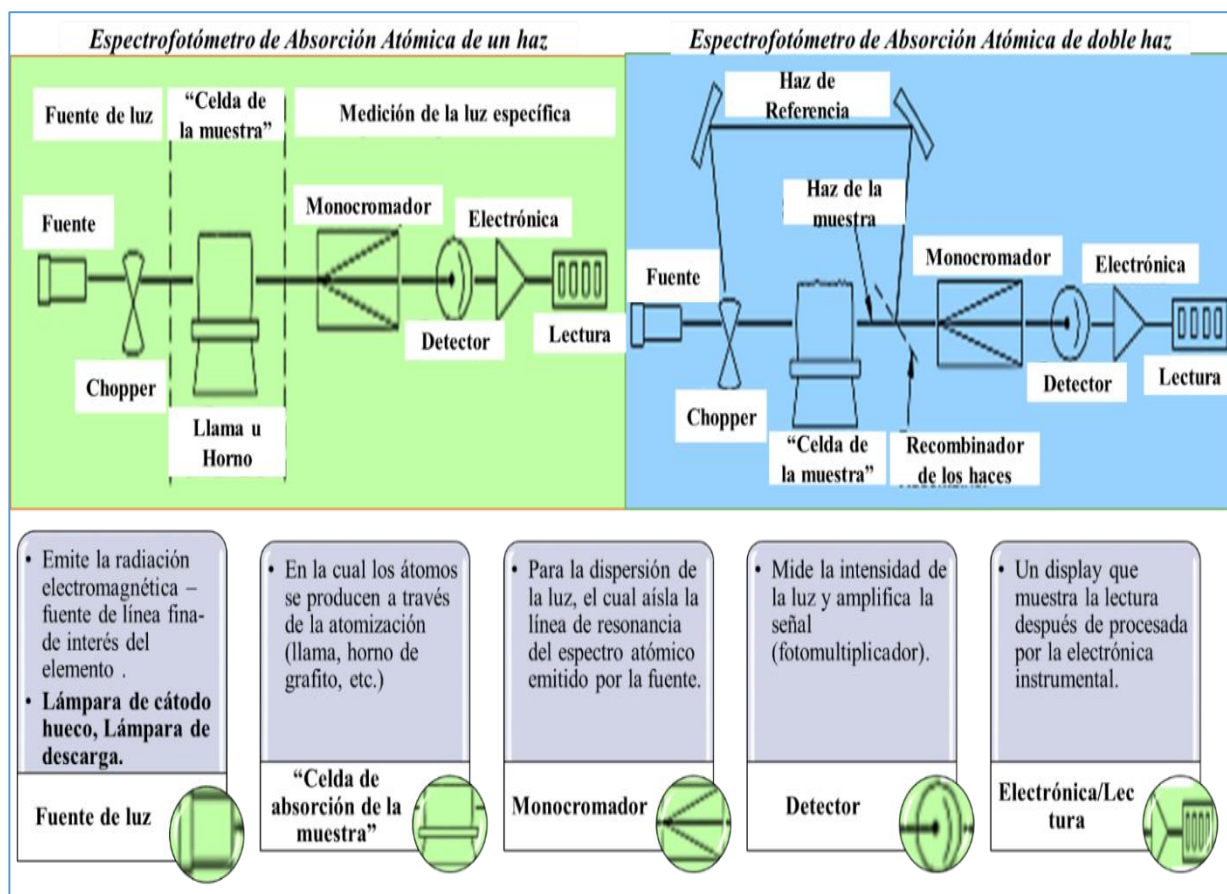


Figura 11. Instrumentación en EAA.

Fuente: Tomado y adaptado de Perkin-Elmer Corporation (1996); Razmilic (2021).

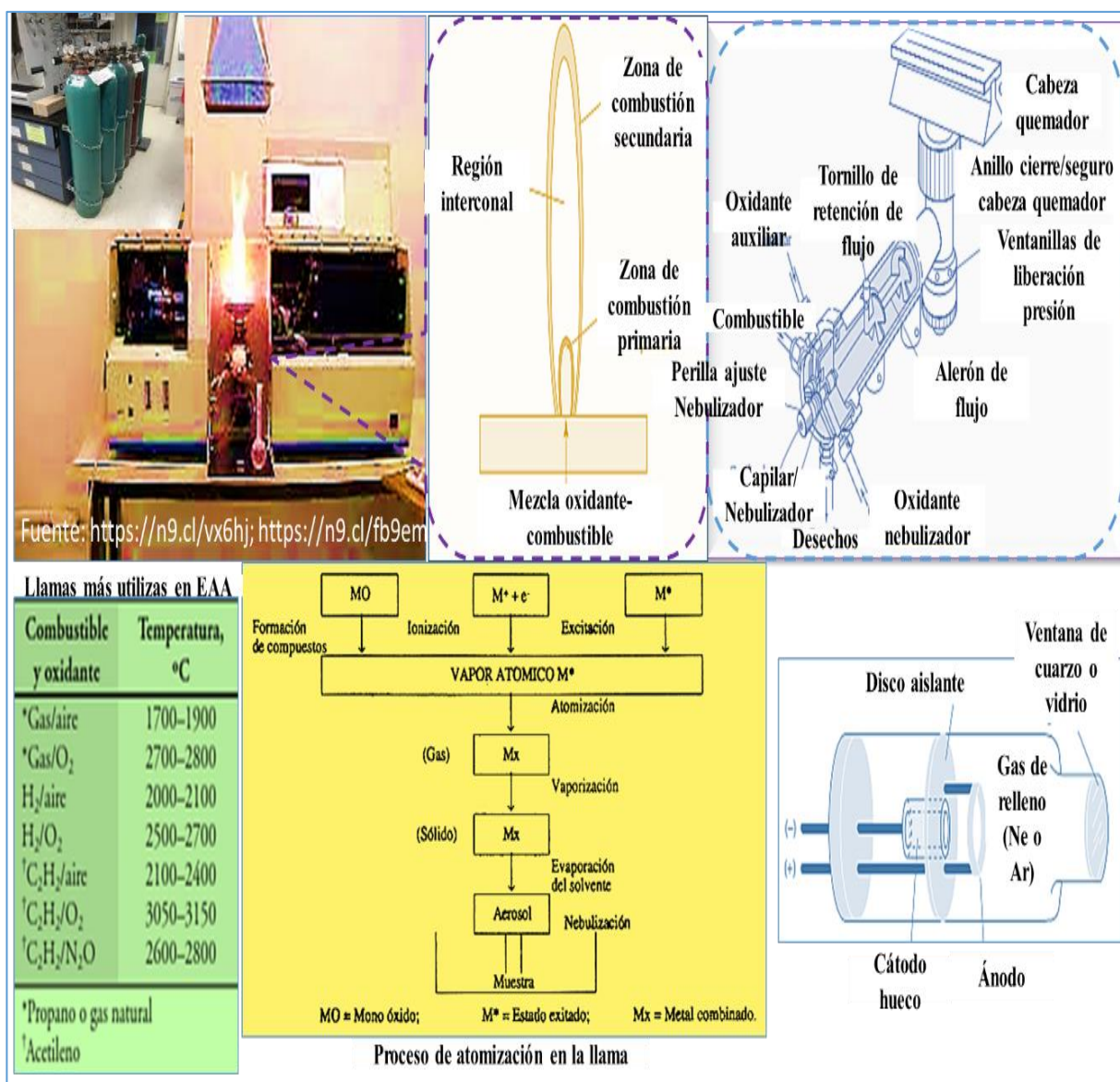


Figura 12. Llamas más utilizadas en EAA-llama, proceso de atomización en la llama, partes de la llama, lámpara de cátodo hueco (*parte inferior derecha*) y sistema nebulizador-quemador (*parte superior derecha*).

Fuente: Tomado y adaptado de Skoog *et al.* (2015); Perkin-Elmer Corporation (1996); Harris (2010); Razmilic (2021).

6.2.5. Calibración instrumental.

Los cálculos analíticos en este tipo de técnicas son similares a los demás métodos de absorción; donde se hace necesario realizar una carta o CC –gráfico que relaciona la señal analítica (en este caso la absorbancia) contra la concentración, con un buen ajuste de los datos a una recta, con criterio de selección coeficiente de determinación R^2 0,996 hasta 1- (Hamilton *et al.*, 1992; Clavijo, 2002).

En la calibración instrumental, en este caso empleando métodos comparativos de tipo instrumental como EAA-llama, involucra el uso de materiales estándar de referencia –los cuales

deberían ser de naturaleza similar de la muestra- para verificar o controlar la respuesta o señal analítica del instrumento (Ramette, 1984). La calibración tiene como propósito asegurar el funcionamiento del equipo, la escala de medida, la señal analítica; así como la verificación de la medición en términos de las unidades; asimismo, la comparación de valores medidos de un equipo instrumental determinado contra el valor de referencia de un sistema estándar de concentración definida y la sustancia de calibración; que implica la determinación la relación entre la concentración del mensurando y la respuesta de la técnica empleada (Rubinson y Rubinson, 2001; Clavijo, 2002; Harris, 2010).

Añadiendo, Cuadros-Rodríguez *et al.* (2001), refiere a la calibración como aquel proceso bajo ciertas condiciones en el que se busca establecer la relación entre la medición -física o química- dada por un instrumento frente a cantidades determinadas presentes en un sistema de referencia (estándares de calibrado).

Bajo este sentido, habitualmente la calibración del instrumento que implica la preparación de una pequeña serie de estándares “ideales” que implican suponer la no presencia de posibles interferentes o componentes presentes en el problema analítico diferentes del analito (Miller y Miller, 2010; Skoog *et al.*, 2015). Su efecto sobre la señal analítica del mensurando, así como la determinación de la concentración de este puede reflejarse en cuanto al cambio de la pendiente del gráfico de calibración obtenido (Miller y Miller, 2010). Por tanto, para reducir los probables efectos que podrían ocasionar este tipo de efectos espectadores se ha sugerido aplicar la metodología de EM.

Con los datos obtenidos de una medición analítica (variable dependiente -Y-) y la concentración, se realiza, por lo general, una regresión lineal; esta es descrita por la expresión $Y = mx + B$, siendo X la variable independiente, B el intercepto, m la pendiente de la línea recta (Clavijo, 2002). La linealidad da cuenta si una determinada metodología genera resultados apropiados a lo largo de un intervalo de concentraciones analíticas de interés; siendo confrontada con el criterio del coeficiente de determinación R^2 (Clavijo, 2002).

La relación lineal generalmente sigue una tendencia creciente de la variable controlada obteniendo un resultado experimental medido; donde se hacen presentes los errores tanto aleatorios como sistemáticos. Por tanto, se hace necesario especificar las incertidumbres asociadas, en este caso, a los valores de la pendiente y el intercepto, que permitan establecer los posibles rangos en los que se puedan encontrar los mismos. Para ello, se sugiere aplicar el método del análisis de regresión lineal o metódica de los mínimos cuadrados (Ramette, 1984).

6.2.6. Método estándar y de equiparación de matriz (EM).

El método estándar de calibración, o también conocida como metódica tradicional- refiere al proceso en el que se elaboran una pequeña serie de patrones o estándares de calibración de concentración del analito conocida, que generan una determinada señal analítica según el instrumento empleado. Lo anterior, se realiza con el fin de obtener particularmente un gráfico conocido como curva de calibración (Clavijo, 2002; Miller y Miller, 2010; Skoog *et al.*, 2015). Por tanto, esta metodología implica tres pasos: preparación de disoluciones patrón, medida de la señal, y cálculos matemáticos (Carter *et al.*, 2018).

La EM –también conocida como metódica de fortificación o igualación de matriz- refiere a una metodología de calibración donde se busca fortificar o igualar, tan cerca como sea posible, las condiciones fisicoquímicas de la matriz analítica a los estándares o patrones de calibración –sistemas multielemento- (Miller y Miller, 2010; Skoog *et al.*, 2015; Eurolab España, 2016; Phiri, 2017). Para ello, se realiza una disolución spiked o “matriz de muestra” que reúne las interferencias –sean de tipo físico o químico- que podrían influir en el trabajo analítico (Miller y Miller, 2010); cabe mencionar, que este último aspecto es un elemento diferenciador en cuanto a la metodología estándar.

Por ende, es importante tratar de asegurar en la medida de lo posible que la medición de una determinada propiedad se deba al analito y no algún interferente, esto con el fin de evitar los sesgos

relacionados con el aumento o disminución de la lectura de la señal del mensurado (Skoog *et al.*, 2015; Eurolab España, 2016). La EM elimina el efecto debido a la matriz, esto puede visualizarse desde el cambio de la pendiente.

Frente a la EM, Phiri (2017) mencionó que, en cuanto a una comparación frente al método de adición estándar, no requiere una gran cantidad de reactivos químicos, por lo que resulta rentable; asimismo, es fácil en su realización y no consume tiempo pues requiere una única gráfica de calibración del elemento de interés; bastante reproducible, con bajos LOD y LOQ, cuya dificultad experimental podría relacionarse con la elaboración de los estándares equiparados que implica errores aleatorios. Es importante mencionar que para realizar la EM se requiere conocer valores de referencia en cuanto a la matriz analítica (esto se puede desde la consulta de literatura como tesis, artículos, reportes científicos); por otro lado, realizar la metodología estándar para cuantificar las interferencias y posteriormente fortificar los estándares con los mismos;

Por otro lado, las interferencias analíticas refieren a cualquier efecto fisicoquímico o espectral indeseado que puede producir o no un cambio importante sobre la señal analítica sin producir cambios en la concentración del mensurado (Harris, 2010). Generalmente, se han reportado múltiples agentes interferentes, los cuales pueden agruparse principalmente de tipo físico, químico y espectral, las cuales pueden afectar la gran mayoría de técnicas instrumentales como la EAA-llama.

Su clasificación, características y formas de reducirlas se exponen en la Tabla 8:

Tabla 8. Tipos de interferencias analíticas, características y posibles formas de reducirlas.

Tipo de interferencia	Características	Forma de reducirla
Interferencias físicas	Se dan cuando las propiedades físicas (por ejemplo, la viscosidad, densidad, tensión superficial, diferencia en la temperatura de la matriz con respecto a los estándares de calibración, tipo de medio (básico, ácido o neutro), concentración alta de iones metálicos espectadores, etc.) de la matriz analítica y los estándares difieren considerablemente. Esto puede afectar el proceso de aspiración, nebulización, formación de átomos.	Realizar la metodología de EM, adición estándar; o también diluir las disoluciones –preparando los estándares, blanco y muestra similarmente-.
Interferencias químicas	Son causadas por la presencia de sustancias químicas en la matriz o formadas en la llama –por ejemplo, óxidos metálicos refractarios (OR), hidróxidos (H), etc.; así como aniones (A), sales refractarias. A este grupo, se unen las interferencias de ionización (II.), las cuales se generan cuando la llama está a una alta temperatura, o elementos –alcalinos, alcalinotérreos- que tienen un bajo potencial de ionización.	Si hay presencia de OR, A, H se recomienda emplear llamas más calientes o agentes liberadores (cationes que reaccionan con la interferencia). Por otro lado, para superar las interferencias de ionización se pueden emplear supresores o tampones de ionización para aumentar la concentración electrónica –sales de K, Na, Rb, Cs-. Realizar la metodología de EM, adición estándar; o también diluir las disoluciones –preparando

Tipo de interferencia	Características	Forma de reducirla
Interferencias espectrales	Se deben al solapamiento o superposición de otras señales –debidas a moléculas o elementos espectadores, a la llama, dispersión de la radiación electromagnética- sobre la señal del analito de interés.	los estándares, blanco y muestra similarmente-. Seleccionar otra longitud de onda analítica o línea de resonancia. Para el caso de interferencias debidas a la llama, utilizar fuentes de corrección de fondo deuterio o wolframio.

Fuente: elaborado a partir de Perkin-Elmer Corporation (1996); Harris (2010); Skoog *et al.* (2015); Razmilic (2021).

En complemento la ejecución de la EM requiere de información relacionada con la composición y/o caracterización fisicoquímica previa de la matriz analítica; por ejemplo: literatura primaria o secundaria, reportes al alcance del analista. En tal caso de no disponer de la misma, es conveniente realizar la metodología estándar y luego realizar la EM, cuyo punto de partida serán los valores de concentración determinados anteriormente. Como bien se mencionó, los interferentes probables y presentes en la matriz podrían tener efecto sobre la señal analítica y a su vez sobre el reporte de la concentración del analito de interés; esto se verá reflejado al graficar los datos en una misma figura, cuyo cambio principal será reflejará sobre el cambio del valor de la pendiente, y en algunas ocasiones la ordenada en el origen (Perkin-Elmer Corporation, 1996; Harris, 2010; Miller y Miller, 2010).

En términos generales la calibración instrumental en EAA-llama, atendiendo a sugerencias metodológicas de proveedores fabricantes de equipos como Perkin-Elmer, sugieren tomar como base el valor de la denominada characteristic concentration check (mg/L) –CCC-; esto, para realizar entre 4 a 10 estándares de calibración cuyo valor final sea el CCC. Teniendo presente que cada uno de los metales susceptible de ser medido por EAA presenta unas condiciones estándar de análisis específicas, como longitud de onda, slit -o ancho de rendija-, tipo de llama, etc. Por supuesto, sin dejar de lado la elaboración de una disolución blanco de referencia, el cual concierne a un sistema que incluye los reactivos, solventes, etc., sin el analito de interés (Perkin-Elmer Corporation, 1996; Miller y Miller, 2020).

Vale la pena añadir que, se toma la CCC ya que refiere a la concentración del estándar más concentrado que produce una señal analítica de 0,200 unidades de absorbancia (Perkin-Elmer Corporation, 1996).

Adicionalmente, es importante mencionar que, este tipo de metodología sugerida no está exenta de ser utilizada en otro tipo de equipos instrumentales de absorción atómica con atomización de llama, pues siguen el mismo procedimiento, haciendo la salvedad que las casas matrices que los fabrican establecen los rangos lineales o CCC hasta donde es sugerido realizar las lecturas.

6.2.7. CC, rango lineal, rango útil de trabajo, LOD, LOQ, sensibilidad analítica.

La curva o carta de calibración refiere a un gráfico construido a partir de la lectura obtenida según la señal analítica (en este caso la absorbancia) –variable dependiente eje Y- contra las concentraciones conocidas del analito de interés –variable independiente abscisa X-; por supuesto, elaborado con las parejas de datos de dichas variables (X, Y)- (Clavijo, 2002; Miller y Miller, 2010; Skoog *et al.*, 2015). Su elaboración debe apoyarse en softwares matemáticos, tales como la hoja de cálculo de Excel, SPSS u otros con el fin de no sesgar la interpretación de este (Miller y Miller, 2010).

A partir de este gráfico (ver Figura 13), se obtienen las concentraciones –generalmente por interpolación- de una determinada matriz analizada bajo las mismas condiciones de los estándares y respuestas del sistema analítico. Adicionalmente, desde este tipo de gráficos se pueden inferir atributos como el rango lineal, el intervalo útil de trabajo, LOD, LOQ y la sensibilidad analítica del análisis realizado; por supuesto, junto con su respectiva ecuación del gráfico de forma: $Y = b \cdot X + a$, que en términos analíticos referiría a señal analítica = $m \cdot [] + a$, con un criterio de aceptación en función del R^2 0.995 a 1 (Miller y Miller, 2010).

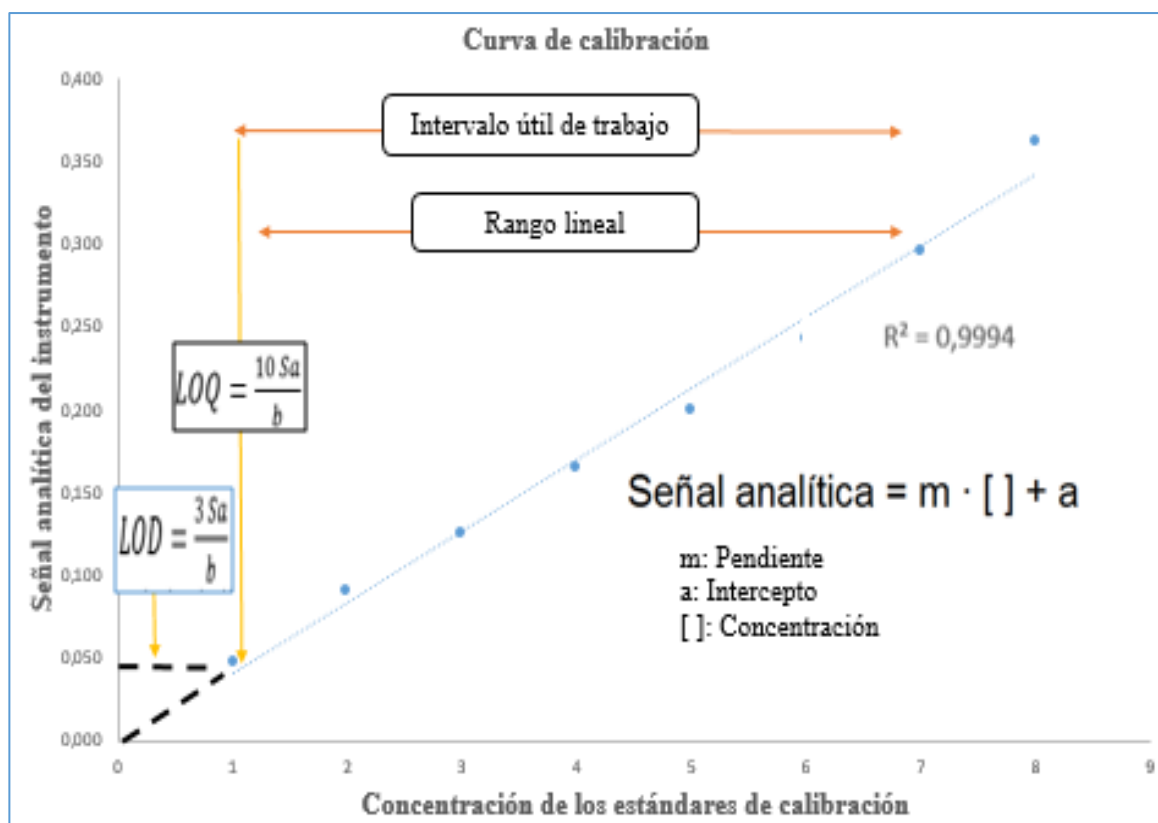


Figura 13. CC -con LOQ, LOD, rango lineal, rango útil de trabajo, coeficiente de determinación, ecuación del gráfico-.

Fuente: elaborado a partir de Miller y Miller (2010), Eurolab España (2016, p.28).

Hoy en día, hay una amplia bibliografía referente a los procesos de validación de los métodos analíticos, así como los atributos de desempeño que hacen parte de estos. Aún no existe un acuerdo total por parte de investigadores científicos, organismos estatutarios y profesionales, en cuanto al número de atributos que deben realizarse, así como los términos y definiciones que deberían manejarse (Miller y Miller, 2010; Eurolab España, 2016). Por tanto, a continuación, se presentan algunas conceptualizaciones referentes a algunos atributos analizados alrededor de las MCI:

a) Límite de detección (LOD, por sus siglas en inglés): Concentración o cantidad del analito que se deriva de la menor señal analítica, que puede detectarse con una exactitud y precisión baja. Desde una curva de calibración seleccionada se calcula aplicando la expresión tres veces la desviación estándar del intercepto (S_a) sobre el valor de la pendiente (b) (Jurado, 2008; Harris, 2010; Miller y Miller, 2010; Eurolab España, 2016).

b) Límite de cuantificación (LOQ, por sus siglas en inglés): Concentración o cantidad del analito que se deriva de la menor señal analítica, que puede detectarse con una exactitud y precisión alta. Desde una curva de calibración seleccionada se calcula aplicando la expresión diez veces la desviación estándar del intercepto (S_a) sobre el valor de la pendiente (b) (Jurado, 2008; Harris, 2010; Miller y Miller, 2010; Eurolab España, 2016).

c) Rango lineal: Intervalo de concentraciones donde se presenta una relación proporcional lineal entre la concentración y la señal analítica (Jurado, 2008; Miller y Miller, 2010; Eurolab España, 2016).

d) Rango útil de trabajo: o también conocido como *intervalo útil de trabajo*, concierne al intervalo de concentraciones donde se presenta una relación proporcional lineal desde el patrón de concentración más alta y la mínima cantidad o concentración cuantificable (LOQ) (Eurolab España, 2016).

e) Sensibilidad analítica: es la relación o cociente entre la variación de la señal analítica y la variación de la concentración (magnitud medida). Se puede determinar desde la pendiente (m) de la ecuación de la recta ajustada a una curva de calibración seleccionada (Jurado, 2008; Harris, 2010; Eurolab España, 2016).

Vale la pena mencionar, que habitualmente para encontrar los valores de LOD y LOQ de un método analítico es necesario realizar la medida de la réplica de por lo menos 10 blancos de reactivos o blancos de muestra (Miller y Miller, 2010; Eurolab España, 2016). Sin embargo, estos parámetros se pueden determinar desde funciones en programas como la hoja de cálculo de Excel como la *Estimación lineal* (Jurado, 2008). Los pasos para ejecutarla se muestran en la Figura 14:

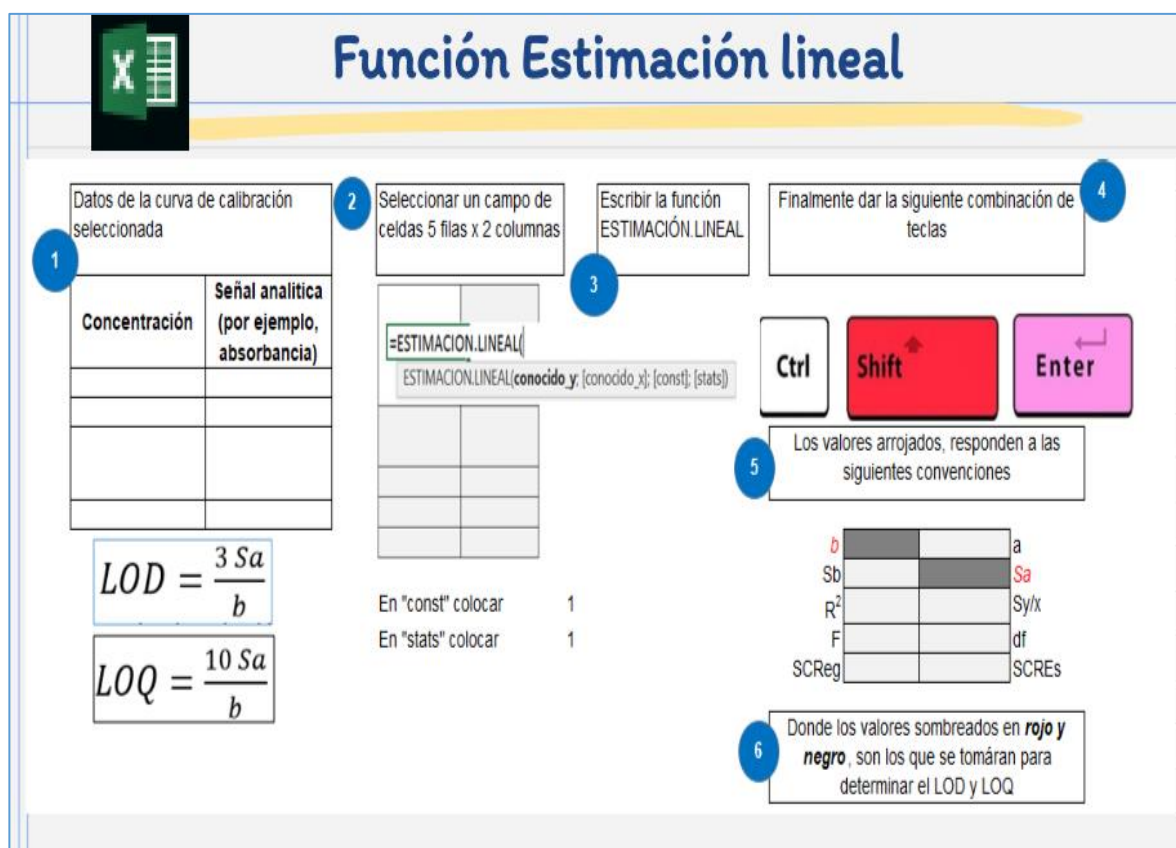


Figura 14. Pasos para ejecutar la función Estimación lineal en la hoja de cálculo de Excel.
Fuente: elaborado a partir de Jurado (2008).

Por otro lado, Miller y Miller (2020) exponen que en términos de los criterios de selección de una apropiada CC que refleja la relación proporcional entre la señal analítica y la concentración generalmente se toma el coeficiente de determinación o de correlación múltiple R^2 ; puesto que es el habitualmente usado en disciplinas científicas cuantitativas. Adicionalmente, dicho valor se obtiene de elevar al cuadrado el valor del coeficiente de correlación momento-producto $-r$ o de Pearson la cual relaciona la covarianza de las variables X , Y ; este puede encontrarse en $-1 \leq r \leq +1$. Se sugiere que sus valores sean lo más cercano a 1 (0 al 100%) o 0,996 – 0,9991 (Christian, 2009; Harris, 2010; Miller y Miller, 2010).

El coeficiente de determinación R^2 busca proporcionar la variación en este caso de los datos al ajustarse sobre una línea recta (Clavijo, 2002). La relación lineal generalmente sigue una tendencia creciente de la variable controlada obteniendo un resultado experimental medido; donde se hacen presentes los errores tanto aleatorios como sistemáticos. Por tanto, se hace necesario especificar las incertidumbres asociadas, en este caso, a los valores de la pendiente y el intercepto, que permitan establecer los posibles rangos en los que se puedan encontrar los mismos. Para ello, se sugiere aplicar el método del análisis de regresión lineal o metódica de los mínimos cuadrados (Ramette, 1984; Skoog *et al.*, 2015).

No obstante, este tipo de criterios de selección no están sujetos a asegurar que la relación obtenida sea totalmente lineal; por ello, Miller y Miller (2010, p.117-118) sugiere aplicar pruebas estadísticas tales como la prueba t ; o si se asume que hay una relación lineal realizar el método de mínimos cuadrados con el fin de analizar las incertidumbres asociadas a la pendiente y al intercepto de la forma algebraica obtenida, pues está relacionado con las desviaciones residuales sujeto a errores experimentales. La forma de su aplicación ya sea usando las ecuaciones necesarias o con el uso de programas como la hoja de cálculo de Excel, pueden consultarse en autores como el mencionado, así como Ramette (1984), Robinson y Robinson (2001), Clavijo (2002).

Ahora bien, en la Figura 15 se ilustra un gráfico que reúne el método estándar y EM donde se muestran los parámetros mencionados en una CC:

Curva de calibración: *método estándar vs método equiparación de matriz*

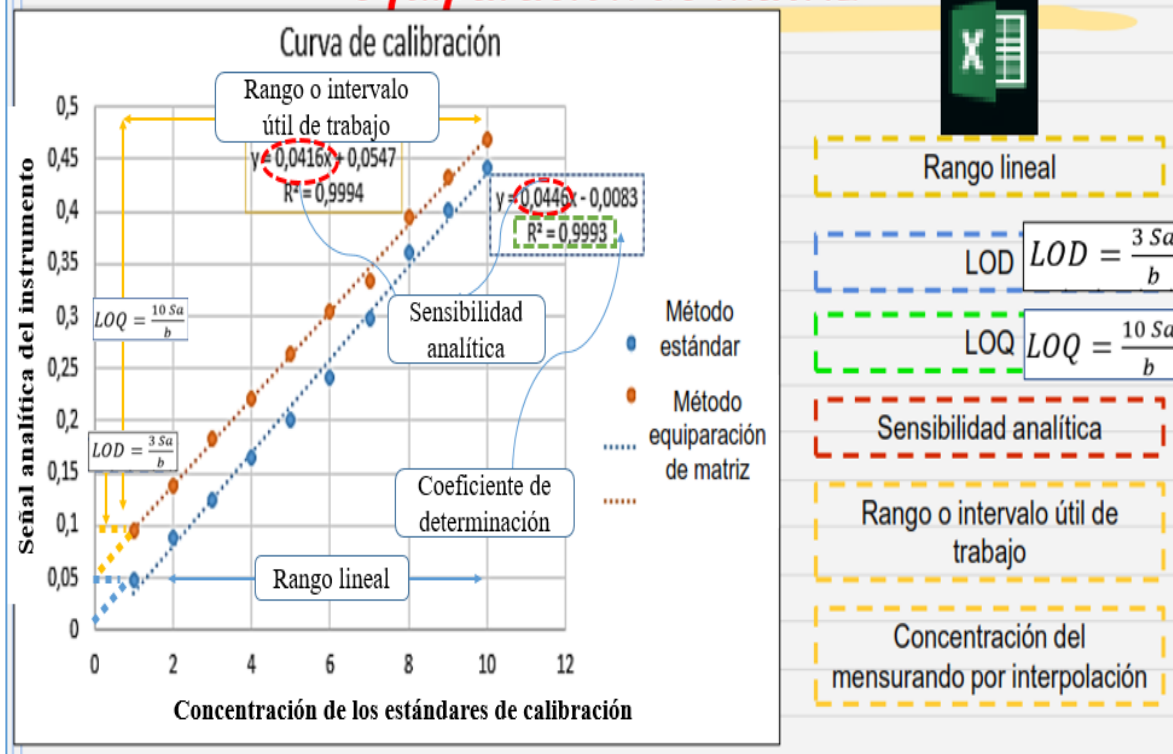


Figura 15. CC: gráfico del método estándar y EM, y parámetros (LOD, LOQ, rango lineal, sensibilidad analítica, rango útil de trabajo, coeficiente de determinación).

Fuente: elaborado a partir de Cuadros-Rodríguez *et al.*, 2001; Donati y Amais (2019).

7. Metodología.

A continuación, se especifica el tipo de investigación, alcance, diseño, población y fases del presente estudio:

7.1. Tipo de paradigma investigativo.

El enfoque investigativo de la investigación fue de tipo *mixto o híbrido*; para la conceptualización de este tipo de paradigma investigativo Hernández-Sampieri *et al.* (2014) expone que “es un proceso que recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos en una misma investigación o una serie de investigaciones para responder a un planteamiento. La justificación en la utilización de este es que ambos métodos (cuantitativo y cualitativo) se entremezclan en la mayoría de sus etapas, por lo que es conveniente combinarlos para obtener información que permita la triangulación como forma de encontrar diferentes caminos y obtener una comprensión e interpretación, lo más amplia posible, del fenómeno en estudio” (p. 532).

7.2. Alcance de la investigación.

En este sentido, es necesario especificar que el alcance de la investigación fue de tipo *exploratorio-descriptivo*; pues en términos de Hernández-Sampieri *et al.* (2014, p.91), desde el enfoque exploratorio se busca examinar o prefigurar un determinado tema que es poco estudiado, novedoso o del que no se ha abordado aún; obtener información acerca de conceptos o variables promisorias de una indagación preliminar en un contexto particular delimitado temporal y espacialmente.

Por otro lado, el enfoque descriptivo en palabras de Hernández-Sampieri *et al.* (2014) concierne a la descripción de contextos, sucesos, situaciones, fenómenos, variables; por supuesto, mencionando algunas características, propiedades, del grupo de participantes, objetos, u otro objeto de análisis inherente de la investigación. Esto conlleva a que busque medir o recolectar información, puede ser de manera independiente o en conjunto, sobre las variables o los conceptos de interés para el investigador, donde no necesariamente el objetivo es indicar como se relacionan.

7.3. Diseño de la investigación.

Bajo este hilo, con respecto al plan o estrategia desarrollada para obtener los datos cuantitativos e información cualitativa, de conformidad con los objetivos y la pregunta de investigación con respecto al diseño de la investigación mixta, Hernández-Sampieri *et al.* (2014) refiere a que la recolección de los datos se realizará secuencialmente (en función de cumplir los objetivos específicos dados, a su vez el general, y dar respuesta a la pregunta problema planteada); en contraste, el propósito central de la integración de los datos cualitativos y cuantitativos es en parte la explicación de éstos, desde una triangulación.

Ante esto, se optó por el diseño explicativo secuencial (DEXPLIS), dados los objetivos planteados alrededor de la pregunta problema planteada; el formato general de éste se ilustra en la Figura 16:



Figura 16. Esquema DEXPLIS.

Fuente: tomado y adaptado de Hernández-Sampieri *et al.* (2014, p. 554).

De acuerdo con Hernández-Sampieri *et al.* (2014) expone que el diseño DEXPLIS:

Se caracteriza por una etapa inicial en la cual se recaban y analizan datos cuantitativos, seguida de otra donde se recogen y evalúan datos cualitativos. La mezcla mixta ocurre cuando los resultados cuantitativos iniciales informan a la recolección de los datos cualitativos. Cabe señalar que la segunda fase se construye sobre los resultados de la primera. Finalmente, los descubrimientos de ambas etapas se integran en la interpretación y elaboración del reporte del estudio. Se puede dar prioridad a lo cuantitativo (CUAN) o a lo cualitativo (CUAL), o bien otorgar el mismo peso, siendo lo más común lo primero (CUAN). Un propósito frecuente de este modelo es utilizar resultados cualitativos para auxiliar en la interpretación y explicación de los descubrimientos cuantitativos iniciales, así como profundizar en éstos. Ha sido muy valioso en situaciones donde aparecen resultados cuantitativos inesperados o confusos. Cuando se le concede prioridad a la etapa cualitativa, el estudio puede ser usado para caracterizar casos a través de ciertos rasgos o elementos de interés relacionados con el planteamiento del problema, y los resultados cuantitativos sirven para orientar en la definición de una muestra guiada por propósitos teóricos o conducida por cierto interés. (p.554)

7.4. Delimitación geográfica y temporal de la investigación y participantes.

Con respecto a la revisión documental realizada para la estandarización del proceso de biosorción de Cr con virutas del WB, de conformidad con la consolidación del apartado de Antecedentes de la presente investigación, refirió a la búsqueda y selección de artículos, trabajos investigativos (modalidades Técnicas, Tecnológicas, Pregrado, Posgrado, Doctorado, Posdoctorado, Especializaciones, Diplomados), capítulos de libros, patentes; esto a nivel local, nacional e internacional, en el periodo de tiempo de 2000 hasta la actualidad (debido a la poca información encontrada preliminarmente en un intervalo de 10 años). Lo anterior, desde la indagación en diversas fuentes de información disponibles, algunas de acceso gratuito o que estuvieron al alcance del investigador (repositorios institucionales, bases de datos libres o de acceso a través de la Universidad, algunos portales web).

Por otro lado, la implementación de la propuesta de enseñanza contó con la participación de nueve estudiantes universitarios (4 hombres y 5 mujeres) de edades entre los 21 a 23 años, del PLQ de la UPN, Bogotá D.C., décimo semestre, periodo 2021-II (en época de pandemia ocasionada por la COVID-19; intervenciones sincrónicas-virtuales con apoyo de TIC). Los profesores en formación

inicial estaban cursando el espacio académico de Énfasis disciplinar II: Tecnologías limpias en aguas residuales, con una intensidad horaria de 3 horas dos días a la semana.

7.5. Fases de la investigación, técnicas de recolección de la información y criterios de análisis de los resultados.

Partiendo de los objetivos formulados, las fases planteadas y que guiaron la presente investigación correspondieron a tres:

(1) Estandarización del proceso de biosorción de Cr con virutas cromadas a partir de una revisión documental 2000-2021.

(2) Diseño e implementación, a modo de pilotaje, de la PE.

(3) Análisis del fortalecimiento de la habilidad de proceso PI.

En los siguientes apartados se detallan cada una, mencionando las actividades realizadas, las técnicas de recolección de información, y los criterios de análisis.

7.5.1. Fase de estandarización del proceso de biosorción de Cr con virutas cromadas a partir de una revisión documental 2000-2021.

Es importante aclarar que, el investigador al referirse a la estandarización del proceso de biosorción de Cr con virutas del WB concernió a la búsqueda y selección de reportes investigativos relacionados con este tema; y a partir de estos, consolidó en una matriz los valores de las condiciones óptimas del uso de esta tecnología no convencional en aguas residuales contaminadas con dicho metal (sean sintéticas o reales). Esto con el fin de que en futuras investigaciones se apliquen en matrices acuosas industriales.

Añadido a lo anterior, exponer algunos de los modelos de isoterma, modelos cinéticos, explicaciones del proceso de adsorción, posibles limitaciones, vacíos y futuras investigaciones relacionados con dicho tema. Esto para que se consoliden proyectos, líneas o grupos investigativos interesados en continuar con este tipo de trabajos.

Con relación a las actividades para esta fase:

(1) Se elaboró una lista de palabras claves y/o tesauros, así como fragmentos de texto, en idiomas de español e inglés (expuestas en la Tabla 2, situada en el apartado de Antecedentes disciplinares).

Para ello, el investigador realizó búsquedas preliminares en portales web, Science Direct Topic, tesauros de la UNESCO y ERIC, consultando y descargando metadatos de bases de datos como Scopus, Web of Science, Pubmed, Lens. Estos últimos, se utilizaron en el software VOSviewer 1.6.18 con el cual el investigador visualizó términos adicionales para consolidar la lista de palabras claves –a partir de la opción de co-ocurrencia de términos claves-.

(2) Se estructuraron las ecuaciones de búsqueda, en idiomas español e inglés, utilizando los conectores booleanos AND y OR, así como signos de puntuación -comillas, paréntesis- con ayuda de la hoja de cálculo de Excel.

(3) Se utilizaron las ecuaciones de búsqueda formuladas en los recursos de información disponibles, de acceso libre/gratuito/a través de la Universidad o al alcance del investigador (expuestos en la Tabla 2, situada en el apartado de Antecedentes disciplinares); lo anterior, en el intervalo de tiempo indicado.

Con respecto a la información encontrada y seleccionada se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

(1) Lectura del título, el resumen y las palabras claves.

- (2) Productos investigativos relacionados directamente con el tema objeto de búsqueda.
- (3) Estuviera al alcance del investigador –documentos descargables o visibles-.
- (4) Documentos legibles, no repetidos en otros sitios.

Después de seleccionados los documentos, se realizó un análisis de contenido de estos. Para ello, el investigador se apoyó en el software de análisis cualitativo NVivo 12 Plus para obtener una matriz que consolidará dichos documentos, donde las categorías (nodos) fueron:

- (a) Las COS de las virutas del WB como biosorbentes de Cr y %Eficiencia: concentración del contaminante, tipo de agua residual, pH, modificación fisicoquímica, tamaño de partícula, agitación, temperatura, tiempo de contacto, % eficiencia.
- (b) Modelos de isotermas, cinéticas de adsorción, y explicación del bioproceso: modelos isotérmicos, capacidad de adsorción, modelo cinético, mecanismo de adsorción.
- (c) Proceso de desorción y ciclos de reúso: agentes desorbentes, %desorción, ciclos de reúso.
- (d) Limitaciones, vacíos y futuras investigaciones –que posiblemente los autores de las investigaciones mencionaron o desde la lectura realizada del producto investigativo-.

Por último, con la consolidación de los parámetros anteriormente mencionados, se estructuró el trabajo de laboratorio virtual sobre el proceso de adsorción de Cr empleando las virutas del WB. Esto con el fin de que los participantes involucrados en la implementación de la propuesta de enseñanza aplicarán los aspectos conceptuales y metodológicos abordados alrededor de las metodologías estándar y EM de calibración instrumental en EAA-llama.

7.5.2. Fase de diseño e implementación, a modo de pilotaje, de la PE.

En primer lugar, el investigador tuvo la oportunidad de obtener algunos resultados experimentales en su formación inicial de Pregrado en cuanto a las MCI estándar y EM para la cuantificación de Cr. Para ello, se realizó el procedimiento descrito en el protocolo diseñado por Casas (2017).

El objetivo del trabajo analítico estuvo direccionado a la cuantificación de Cr presente en aguas residuales sintéticas tras su remoción en este caso química, en presencia de interferentes – en este caso, metales como Zn y Cu-. Cabe mencionar que la metodología de EM en la cuantificación de Cr en presencia de metales como Zn y Cu, se debió a que este tipo de contaminantes inorgánicos se encuentran entre los nueve que mayoritariamente componen las matrices acuosas industriales - combinados o aislados- (Akpor *et al*, 2014, p. 37-43); adicionalmente, con respecto a los antecedentes indagados son pocos los estudios relacionados con la EM y los metales indicados en técnicas como la EAA-llama; un estudio similar es el expuesto por Castellanos *et al*. (2018).

Por otro lado, referente al procedimiento analítico realizado:

- (1) Se emplearon reactivos de grado analítico: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (99,9%), $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (99,7%); $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (99,9%), KCl (99,5%), agua desionizada, papel filtro cualitativo Whatman tamaño de poro 2,5 μm .
- (2) El equipo empleado para las lecturas de absorbancia fue un espectrofotómetro de absorción atómica con atomización de llama marca Perkin Elmer.
- (3) Las condiciones y sugerencias del trabajo analítico se siguieron de conformidad con lo expresado por la casa matriz Perkin Elmer –a la primera longitud de onda- tomando el CCC; estas se enlistan en la Tabla 9:

Tabla 9. Condiciones estándar de análisis para metales sugeridos por la casa matriz Perkin Elmer (1996).

Metal	Longitud de onda analítica (nm)	Slit (nm)	CCC (mg/L)	Rango lineal (mg/L)	Tipo de llama
Cr	357,90	0,70	4,0	5,0	Aire-acetileno (reductora-amarilla).
Zn	213,90	0,70	1,0	1,0	Aire-acetileno (oxidante, delgada, azulada).
Cu	324,80	0,70	4,0	5,0	Aire-acetileno (oxidante, delgada, azulada).

Fuente: tomado de Perkin-Elmer Corporation (1996).

Con respecto a la **metodología estándar** se siguió el procedimiento descrito en la Figura 17:

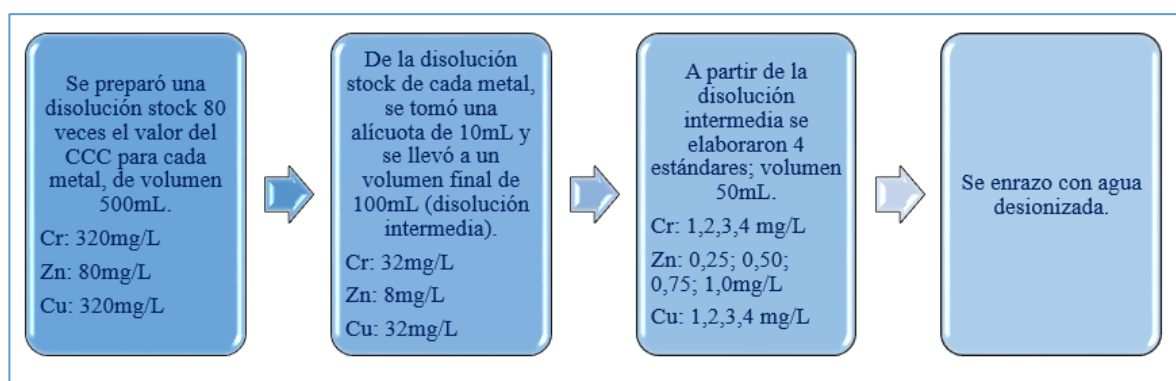


Figura 17. Procedimiento para la metodología estándar de calibración en la cuantificación de Cr por EAA-llama.

Fuente: elaborado a partir de Casas (2017).

Se realizó un agua residual sintética (ARS) de volumen 500mL **con carga de metales Zn 180mg/L, Cu 81mg/L y Cr 320mg/L**; posteriormente, se ajustó el pH entre 2 a 3 unidades. Acto seguido se redujo todo el Cr(VI) presente con 5,05 mg de metabisulfito de sodio (99,9%) –haciendo control de su reducción empleando 1,5 difenil carbazida 0,5 %m/v en acetona-; luego, se añadió 25 mL de cloruro de calcio dihidrato 3 %m/v.

El paso siguiente fue fraccionar el ARS en dos porciones, donde la primera se ajustó el pH a 6,0 y la segunda 10,0; usando NaOH 10%m/v. Se dejaron reposar las muestras por cinco días, se filtro el sistema usando papel Whatman 2,5µm. Se realizó por triplicado la lectura de los estándares y de los sobrenadantes ajustando previamente las condiciones estándar sugeridas por la casa matriz Perkin Elmer (ver Tabla 9).

Con respecto a la **metodología EM** se realizó desde los valores de concentración en el ARS *antes de emplear los tratamientos químicos*; siguiendo el procedimiento ilustrado en la Figura 18:

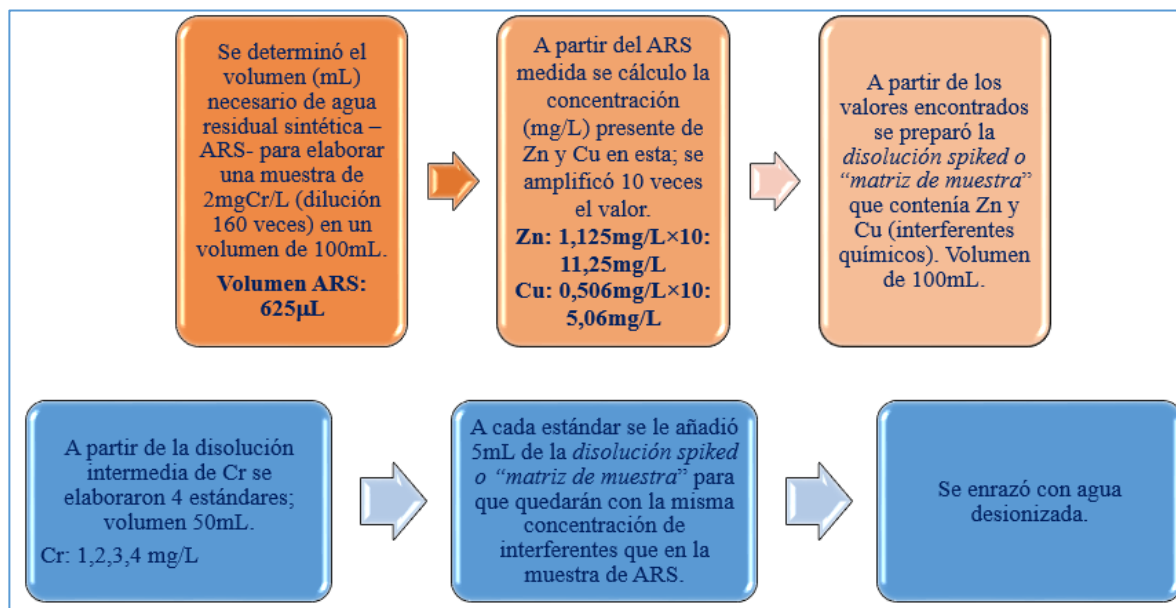


Figura 18. Procedimiento para la metodología de EM en la cuantificación de Cr por EAA-llama.

Fuente: elaborado a partir de Casas (2017).

Con respecto al **tratamiento de los datos obtenidos aquí**, en ambas metodologías se aplicó el método de mínimos cuadrados, con el fin de reportar las incertidumbres asociadas al intercepto y la pendiente, así como el LOD, LOQ, rango lineal, rango útil de trabajo y sensibilidad analítica. Adicionalmente, con los datos encontrados en dichas metodólicas, junto con las condiciones óptimas encontradas en la fase anterior, se utilizaron en el diseño y estructuración del trabajo de laboratorio virtual de la propuesta de enseñanza.

Por otro lado, con respecto a **los aspectos conceptuales y metodológicos que se abordaron en la PE** se detallan en la Figura 19.

Como se observa en la Figura 19, dichos aspectos relacionados con las MCI estándar y EM en EAA-llama y abordados en la propuesta de enseñanza fueron: la interpretación de información sobre las condiciones estándar de absorción atómica de un metal (en este caso Cr); esto, tomando como base el manual Perkin Elmer. Algunas de estas corresponden a la CCC, tipo de llama, slit, longitud de onda analítica, y posibles interferentes analíticos (químicos, físicos o espectrales). En complemento, se encuentra el proedimiento analítico concerniente a la elaboración de disoluciones estándar, patrones intermedios, *disolución spiked* o “matriz de muestra”, estándares de calibración (sin y con equiparación de matriz); lo anterior, involucró la construcción de curvas de calibración (CC) – empleando la hoja de cálculo de Excel-, el coeficiente de determinación R^2 para la selección de esta.

A partir la CC construida y seleccionada, extraer y reportar el rango lineal, LOD, LOQ, intervalo útil de trabajo y la sensibilidad analítica; adicionalmente, comparar la información obtenida en la metodología estándar y EM para expresar cuales de los atributos anteriores cambiaron o permanecieron igual.

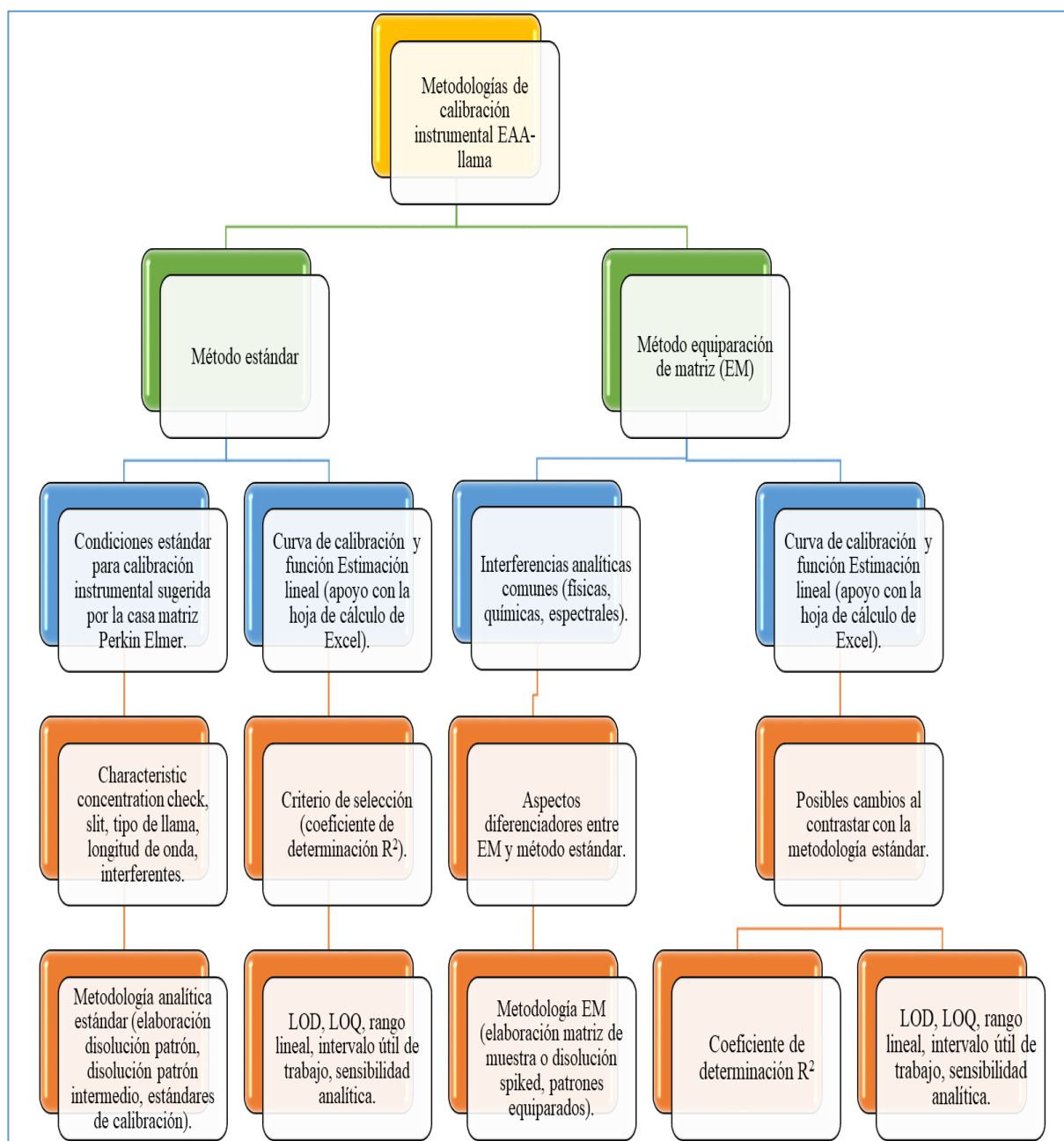


Figura 19. Aspectos conceptuales y metodológicos abordados en la PE con respecto a los MCI en EAA-llama (métodos estándar y EM).

Fuente: Autor.

Teniendo presente los aspectos conceptuales y metodológicos detallados en la Figura 19, se diseñaron y estructuraron los **instrumentos de la PE** (ver Tabla 10). Estos se realizaron retomando algunos de los planteamientos expuestos en los trabajos encontrados y seleccionados del apartado de Antecedentes PyD (ELIPSS, 2017; PAC, 2021; (Hernández-Sampieri *et al.*, 2014; Lantz y Colé, 2014; Schmidt-McCormack, 2017; López-Bernabéu *et al.*, 2018; Reynders *et al.*, 2020), así como las sugerencias consolidadas en la Figura 7.

Tabla 10. Instrumentos/Actividades diseñados en la investigación para la PE.

Instrumento/actividad de la PE	Características	Objetivo/Propósito	Ver
Prueba de conocimientos para evaluar los aspectos conceptuales y metodológicos frente a las MCI en EAA-llama estándar y EM, así como analizar la habilidad PI; todo lo anterior, antes y después de la implementación de la PE.	Cuestionario que consta de 14 ítems; que incluye preguntas abiertas y cerradas (con cuatro opciones y única respuesta). Cada pregunta fue diseñada relacionando un determinado aspecto conceptual o metodológico (ver Figura 19); asimismo, articulando las categorías de la habilidad PI según la rúbrica de evaluación/retroalimentación expuesta en la Tabla 3.	Las preguntas expuestas en el instrumento tuvieron un doble propósito: evaluar los conocimientos alrededor de los aspectos indicados en la Figura 19, así como el análisis de las categorías que conforman la habilidad PI. Lo anterior, antes y después de la implementación en el aula de clases con los participantes.	Anexo 1
Actividad POGIL 1: <i>Calibración instrumental en Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama: método estándar.</i>	Actividad en forma de guía compuesta de 24 ítems donde se muestra un breve contexto –para motivar o comprometer al ET– relacionada con la metodología estándar. También, los prerrequisitos – conocimientos y/o actividades previas– tres objetivos (–de aprendizaje y –de contenido) y lecturas adicionales. Cabe mencionar, que los requisitos previos están relacionados con el uso y manejo de factores de dilución, unidades de concentración (mg/L), elaboración de disoluciones, construcción de gráficos y regresión lineal en la hoja de cálculo de Excel, coeficiente R^2 . Se incluyó un apartado para diligenciar los roles manejados en el ET, así como el tiempo que toman los integrantes en realizar las tareas planteadas en cada uno de los modelos. Para estos últimos, se presentan cuatro y la sección de Aplicaciones. En cada modelo se presentan preguntas o acciones orientadoras que llevan al ET a	El propósito de este instrumento va de la mano con los objetivos de aprendizaje (–contenido y –proceso) expuestos en la Tabla 11.	Anexo 2

Instrumento/actividad de la PE	Características	Objetivo/Propósito	Ver
	su exploración, invención de un determinado concepto (entre estas se encuentran: realizar mini-lecturas, diligenciar tablas, discusión de situaciones, cálculos matemáticos, descripción de un proceso usando sus propias palabras, transformación de la información, realizar gráficos – debidamente rotulados, con títulos, unidades de concentración-, parámetros extraíbles de una CC (ver Figura 13)).		
Actividad POGIL 2: <i>Calibración instrumental en Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama: método de equiparación de matriz</i>	Actividad en forma de guía con un total de 17 ítems donde se muestra un breve contexto –para motivar o comprometer al ET– relacionada con la metodología EM. También, los prerrequisitos –conocimientos y/o actividades previas– tres objetivos (–de aprendizaje y –de contenido) y lecturas adicionales. Cabe mencionar, que los requisitos previos están relacionados con la finalización de la Actividad POGIL 1; elaboración de disoluciones (con y sin equiparación), unidades de concentración (mg/L). Se incluyó un apartado para diligenciar los roles manejados en el ET, así como el tiempo que toman los integrantes en realizar las tareas planteadas en cada uno de los modelos. Se presentan tres modelos y la sección de Aplicaciones. En cada modelo se presentan preguntas o acciones orientadoras que llevan al ET a su exploración, invención de un determinado concepto (entre estas se encuentran: realizar mini-lecturas, diligenciar tablas,	El propósito de este instrumento va de la mano con los objetivos de aprendizaje (–contenido y –proceso) expuestos en la Tabla 11.	Anexo 3

Instrumento/actividad de la PE	Características	Objetivo/Propósito	Ver
	discusión de situaciones, cálculos matemáticos, descripción de un proceso usando sus propias palabras, transformación de la información, realizar gráficos – debidamente rotulados, con títulos, unidades de concentración-, parámetros extraíbles de una curva de calibración y que contrastados con el método estándar podrían cambiar o no (ver Figura 13)).		
Trabajo de laboratorio simulado: <i>Aplicación de la metodología estándar y equiparación de matriz en la cuantificación de Cr en un proceso de remoción con virutas del Wet blue en aguas residuales sintéticas por Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama.</i>	Actividad en forma de guía de 33 ítems donde se muestra un breve contexto –para motivar o comprometer al equipo de trabajo- relacionada con la metodología estándar y EM vista a lo largo de las intervenciones-. También, los prerrequisitos – conocimientos y/o actividades previas- tres objetivos (-de aprendizaje y –de contenido) y lecturas adicionales. Cabe mencionar, que los requisitos previos están relacionados con la finalización de las actividades POGIL 1 y 2. Se incluyó un apartado para diligenciar los roles manejados en el ET, así como el tiempo que toman los integrantes en realizar las tareas planteadas en cada uno de los modelos. Se presentan cuatro modelos y la sección de Aplicaciones. En cada modelo se presentan preguntas o acciones orientadoras que llevan al ET a su exploración, invención de un determinado concepto (entre estas se encuentran: exploración del entorno del simulador, realizar cálculos para la elaboración de disoluciones patrón, estándares de calibración,	Los ET aplican los aspectos conceptuales y metodológicos abordados a lo largo de la intervención utilizando las actividades POGIL 1 y 2. Esto desde un trabajo de laboratorio simulado relacionado con la bio-adsorción de Cr empleando las virutas del Wet blue. Adicionalmente, el propósito de este instrumento va de la mano con los objetivos de aprendizaje (-contenido y –proceso) expuestos en la Tabla 11.	Anexo 4

Instrumento/actividad de la PE	Características	Objetivo/Propósito	Ver
	muestras, realizar gráficos – debidamente rotulados, con títulos, unidades de concentración-, parámetros extraíbles de una CC y que contrastados con el método estándar podrían cambiar o no (ver Figura 13)).		
Roles POGIL	Se muestran los roles que desempeñarán cada uno de los integrantes de los ET conformados junto a sus correspondientes funciones; estos son cuatro: manager, vocero, analista de calidad, analista de procesos.	El manager delegado en el ET asigna un rol específico a cada uno de los integrantes del equipo (que puede ser de 3 o 4 miembros). Cada integrante debe conocer sus funciones en el ET según el rol dado.	Anexo 5
Formulario de Informe del Analista de Procesos	En este formato se muestra un apartado donde el integrante que tiene el rol del analista de procesos reporta al facilitador: (a) Nombre del ET y de la actividad. (b) La evaluación en común acuerdo del trabajo del equipo según la rúbrica de evaluación expuesta en el formato, justificando los valores dados; así como otros aspectos relacionados con el tiempo de realización de la actividad, la participación y ayuda de los integrantes, el cumplimiento de los deberes bajo cada rol dado, contribuciones a la actividad.	Se busca que el integrante bajo el rol de Analista de procesos reporte la evaluación del ET en común acuerdo, bajo algunos indicadores señalados en el formato; estos, relacionados con la realización de la actividad, trabajo en equipo, posibles opciones de mejora para cumplir con la tarea y fortalecimiento de la habilidad PI.	Anexo 6

Fuente: Autor

Tabla 11. Objetivos de aprendizaje (-de contenido y -de proceso), frente a las actividades POGIL diseñadas.

Actividad POGIL	Objetivos de aprendizaje de contenido	Objetivos de aprendizaje de proceso
Actividad POGIL 1: <i>Calibración instrumental en Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama: método estándar</i>	Leer e interpretar la información de un método analítico sugerido en un manual de la casa matriz Perkin Elmer para la calibración tradicional de la técnica instrumental de EAA de llama para el análisis de metales.	Interpretar información tabulada en métodos analíticos con respecto a las condiciones estándar de absorción atómica para metales sugeridas en el manual de la casa matriz Perkin Elmer (PI).
	Utilizar el coeficiente de determinación como criterio de ajuste lineal y selección de una CC.	Evaluar la importancia de la información o los datos necesarios para llevar a cabo la metodología de calibración estándar (PI).
	Determinar el rango lineal, LOD, LOQ, el intervalo útil de trabajo y la sensibilidad analítica desde una CC construida y seleccionada.	Construir, seleccionar e interpretar una CC desde la manipulación y transformación de los datos obtenidos en la metodología de calibración estándar (PI).
Actividad POGIL 2: <i>Calibración instrumental en Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama: método de equiparación de matriz</i>	Mencionar las interferencias analíticas que pueden presentarse en el análisis de metales por EAA de llama, junto con posibles formas de reducirlas/eliminarlas/sustraerlas.	Evaluar cuando es necesario emplear la metodología de equiparación de matriz en la calibración instrumental de la técnica instrumental EAA (PI).
	Distinguir entre la metodología de calibración instrumental estándar y la de EM.	Construir, seleccionar e interpretar una CC desde la manipulación y transformación de los datos obtenidos en el método de EM (PI).
	Especificar cuáles de los parámetros analizados en una curva de calibración seleccionada (rango lineal, LOD, LOQ intervalo útil de trabajo, la sensibilidad analítica) permanecen igual o cambian en la metodología de EM en contraste al método estándar.	Hacer inferencias acerca del efecto de las interferencias analíticas sobre los parámetros de la CC y el análisis de un metal de interés analítico (PI).
Trabajo de laboratorio simulado: <i>Aplicación de la metodología estándar y equiparación de matriz en la cuantificación de Cr en un proceso de remoción con virutas del</i>	Aplicar los aspectos conceptuales y metodológicos abordados en las actividades POGIL 1 y 2, en la cuantificación de tres metales (Cr, Zn y Cu) empleando el método estándar y de EM (solo para Cr) a través de un TLV en EAA-llama.	Interpretar información tabulada en métodos analíticos con respecto a las condiciones estándar de absorción atómica para metales sugeridas en el manual de la casa matriz Perkin Elmer (PI).

Actividad POGIL	Objetivos de aprendizaje de contenido	Objetivos de aprendizaje de proceso
<i>Wet blue en aguas residuales sintéticas por Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama.</i>	Mencionar el rango lineal, LOD, LOQ, intervalo útil de trabajo y la sensibilidad analítica desde una CC construida y seleccionada para dichos métodos. Especificar cuáles de los parámetros que se pueden extraer de una CC seleccionada- el rango lineal, LOD, LOQ, intervalo útil de trabajo y la sensibilidad analítica- así como la concentración de los analitos, permanecen igual o cambian en la metodología de EM en contraste al método estándar.	Evaluar la importancia de la información o los datos necesarios para llevar a cabo la metodología de calibración estándar y EM (PI). Construir, seleccionar e interpretar una curva de calibración desde la manipulación y transformación de los datos obtenidos en la metodología de calibración estándar y EM, así como el efecto de las interferencias analíticas sobre los parámetros de dicho gráfico y el análisis de un metal de interés analítico (PI).

De acuerdo con los instrumentos estructurados, los ítems que los conformaron buscaban evaluar y analizar un determinado conocimiento (concepto o procedimiento) frente a las MCI en EAA-llama - según la Figura 19-; como también categorías específicas de la habilidad PI teniendo presente la rúbrica expuesta en la Tabla 3.

Por ende, en la Tabla 12 se muestra el instrumento/actividad, los ítems de la sección pregunta/modelo y los aspectos conceptuales o metodológicos que el investigador buscó evaluar, así como la(s) categoría(s) de la habilidad PI:

Tabla 12. Instrumento/actividad, ítems de la sección pregunta/modelo y los aspectos conceptuales o metodológicos que se buscaba evaluar, así como la(s) categoría(s) de la habilidad PI.

Instrumento/ actividad	Sección: Pregunta/ Modelo/ Aplicaciones	Ítem (s)	Conocimiento/categoría de la habilidad PI evaluado. <i>Según la rúbrica de la Tabla 3</i>
Prueba de conocimientos para evaluar los aspectos conceptuales y metodológicos de las MCI en EAA-llama estándar y EM, así como analizar la habilidad PI; todo lo anterior, antes y después de la	1	1.1. – 1.4.	*Categorías A, B, C, D. *Metodología estándar y EM (concepto y procedimiento para realizarlas), así como las diferencias entre ambas.
	2	2.	*Categorías A, B, C, D. *Condiciones estándar de absorción para el análisis de un metal reportadas en una tabla.
	3	3.1 - 3.2.	*Categorías A, B, C, D. *Interferencias analíticas, tipos, posibles formas de reducirlas/eliminarlas, así como el uso de la EM.
	4	4.	*Categorías A, B, C, D. *Planeación y ejecución de la metodología estándar y EM para el análisis de un determinado metal.

Instrumento/ actividad	Sección: Pregunta/ Modelo/ Aplicaciones	Ítem (s)	Conocimiento/categoría de la habilidad PI evaluado. <i>Según la rúbrica de la Tabla 3</i>
implementación de la PE.	5	5.1 - 5.5.	*Categorías A, B, C, D. *LOD, LOQ, rango lineal, intervalo útil de trabajo, sensibilidad analítica; construcción de una curva de calibración -variable independiente, dependiente, rótulos en los ejes, título del gráfico- aplicación del criterio de selección de una CC (coeficiente R^2), efecto de los interferentes sobre dichos parámetros.
Actividad POGIL 1: <i>Calibración instrumental en Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama: método estándar.</i>	1	1. - 5.	*Categorías A, B, C, D. *Condiciones óptimas de absorción de un determinado metal, uso y aplicación de la CCC.
	2	6. - 9.	*Categorías A, B, C, D. *Unidades de concentración de una disolución (mg/L), factor de dilución, elaboración de una disolución; metodología analítica para efectuar la calibración instrumental por el método estándar.
	3	10. - 16.	*Categorías A, B, C, D. *Relación presentada entre la señal analítica (absorbancia) y la concentración; manejo de la hoja de cálculo Excel para realizar un gráfico que relaciona dichas variables -debidamente rotulado (título, nombre de los ejes)-; ajuste lineal desde el coeficiente de determinación (observando cómo cambia al retirar parejas de datos); rango de concentraciones -intervalo lineal-, de acuerdo con el criterio de selección.
	4	17. - 24.	*Categorías A, B, C, D. *LOD, LOQ, rango lineal, intervalo útil de trabajo, sensibilidad analítica; indicar sobre el gráfico de curva de calibración dichos parámetros; uso de la hoja de cálculo de Excel para determinar el LOD y LOQ desde la función Estimación lineal.
	Aplicaciones	1. - 3.	*Categorías A, B, C, D. *Aplica en una situación planteada, los constructos abordados en el material y consolidados como ET según los objetivos de aprendizaje (-de contenido y -de proceso) planteados.
Actividad POGIL 2: <i>Calibración instrumental en Espectrofotometría de Absorción Atómica de</i>	1	1 - 3.3.	*Categorías A, B, C, D. *Interferencias analíticas (químicas, físicas y espectrales), formas de reducirlas/eliminarlas, comparación de la EM frente a otra metodología de calibración instrumental (en términos del LOD, LOQ, costo, sensibilidad analítica, tiempo, dificultad experimental).

Instrumento/ actividad	Sección: Pregunta/ Modelo/ Aplicaciones	Ítem (s)	Conocimiento/categoría de la habilidad PI evaluado. <i>Según la rúbrica de la Tabla 3</i>
<i>llama: método de equiparación de matriz</i>	2	4. - 8.	*Categorías A, B, C, D. *Metodología analítica para llevar a cabo la EM, elaboración de estándares equiparados, unidades de concentración de una disolución (mg/L), factor de dilución, elaboración de una disolución; diferencia de la EM contra el método estándar.
	3	9. - 12.	*Categorías A, B, C, D. *CC, criterio de selección, atributos (LOD, LOQ, rango lineal, rango útil de trabajo, sensibilidad analítica) -si permaneció constante o no en contraste con el método estándar-; efecto de las interferencias analíticas sobre el trabajo analítico instrumental.
	Aplicaciones	1. - 5.	*Categorías A, B, C, D. *Aplica en una situación planteada los constructos abordados en el material y consolidados como ET según los objetivos de aprendizaje (-de contenido y -de proceso) planteados.
Trabajo de laboratorio simulado: <i>Aplicación de la metodología estándar y equiparación de matriz en la cuantificación de Cr en un proceso de remoción con virutas del Wet blue en aguas residuales sintéticas por Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama.</i>	1	1. - 5.	*No aplica categorías. *Interacción del ET con el entorno del simulador (partes, uso).
	2		
	3		
	4		
		6. - 22.	*Categorías A, B, C, D. *Aplicación de todos los constructos vistos y consolidados como equipos de trabajo de acuerdo con los objetivos de aprendizaje (-de contenido y -de proceso) planteados.

Fuente: Autor.

Acerca del **proceso de validación de los instrumentos** (específicamente la prueba de conocimientos/evaluación de la habilidad PI, así como las actividades POGIL -1, 2 y el TLV- se realizó bajo juicio de expertos (siete profesores de Química de formación académica avanzada (Magister)). Dadas las condiciones ocasionadas por la COVID-19, se hizo a través de un formulario Google-docs. El propósito de dicho proceso fue obtener retroalimentación en términos de

comentarios, sugerencias y/o recomendaciones para mejorar dichos instrumentos, en concordancia con los objetivos investigativos y las categorías de análisis (Hernández-Sampieri *et al.*, 2014).

Se usaron formatos elaborados por el investigador (ver Anexos 7 y 8) a partir de material alojado en PAC (2021) y los antecedentes P y D. Asimismo, con apoyo de otros autores como Soriano (2014), Williams-Johnson (2016), Matus-Betancourt (2017), Martín *et al.* (2020), Reynders *et al.* (2020), <https://n9.cl/qi508>.

Las categorías en los formatos de validación para el caso de las actividades POGIL fueron: objetivos de aprendizaje (-de proceso y -de contenido); desarrollo de habilidad(es) de proceso; estructura del ciclo de aprendizaje y de la actividad; diversidad, integración y estructura cooperativa; claridad y fluidez. Con un total de 18 indicadores, donde cada evaluador asignó un valor en la escala cero a tres según el indicador y categoría respectiva.

Con relación a la prueba de conocimientos/evaluación de la habilidad PI fueron: planeación del instrumento; construcción del instrumento: contextualización de ítems y/o preguntas; diseño gráfico, redacción, claridad, orientación y secuenciación; categorías de la habilidad PI (evaluar, interpretar, manipular o transformar). Con un total de 13 indicadores asignando un valor en la escala 0 a 3 (según el indicador y categoría respectiva).

Después de ajustados los instrumentos, según los comentarios, sugerencias y/o recomendaciones brindadas a través del juicio de experto se ajustaron los instrumentos diseñados.

Por otro lado, con respecto a la **implementación de la PE** en el espacio académico señalado en el apartado metodológico, tuvo una duración de un mes; cada intervención tuvo una intensidad de tres horas con encuentros de dos días por semana. La planeación de las intervenciones se muestra en las Tablas 13 y 14.

Tabla 13. Planeación de las intervenciones en la implementación de la PE (semanas 1 y 2).

Actividad	Objetivo	Recursos: material/Instrumentos
Contextualización investigación/consentimiento informado/Prueba de conocimientos-habilidad PI.	*Contextualizar el plan de trabajo de la intervención a realizar. *Mirar los conocimientos previos y la habilidad PI antes de la implementación.	Prueba de conocimiento-habilidad PI/ Plataforma Skype /Presentación.
Ruta de trabajo: *Motivación y engranaje. (Process skills/PI). *Temáticas. *Objetivos de aprendizaje *Metodología (POGIL, actividades, plataforma; evaluación).	*Detallar el plan de trabajo de la intervención.	Plataforma Skype/ Presentación Power Point (PP).
Organización de ET.	*Organizar el grupo en ET de 3 a 4 estudiantes.	Plataforma Skype/ Presentación PP.
Actividad 1. Roles POGIL/Lectura/Socialización.	*Conocer las funciones de cada uno de los roles que se van a desempeñar con el método POGIL.	Presentación PP/Tarjetas de roles/Padlet.

Actividad	Objetivo	Recursos: material/Instrumentos
Micro-clase magistral: *Tecnología limpia. *Unidades de concentración (mg/L). *Factores de dilución. *EAA-llama. *Calibración estándar. *Regresión lineal. *Curva de calibración (Rango lineal, LOD, LOQ, Sensibilidad analítica, intervalo útil de trabajo). *Hoja de cálculo de Excel: Gráfico de dispersión * Función Estimación lineal	*Exponer algunos aspectos conceptuales sobre la EAA-llama inherente de la calibración estándar, así como los requisitos previos señalados en la actividad POGIL 1 (haciendo uso de algunos ejercicios de aplicación).	Presentación PP/Padlet/Hoja de cálculo de Excel.
POGIL 1: Calibración EAA-llama: Metodología estándar	*Los objetivos de aprendizaje de contenido y de proceso descritos en el material POGIL diseñado.	Actividad POGIL 1/ Plataforma Skype (salas).
Comentarios finales: balance actividad/feedback/material adicional de refuerzo.	*Retroalimentar, de acuerdo a lo visto, un breve balance de la actividad. *Escuchar el feedback de los equipos frente a la habilidad PI.	Plataforma Skype/ Presentación.

Fuente: Autor.

Tabla 14. Planeación de las intervenciones en la implementación de la PE (semanas 3 y 4).

Actividad	Objetivo	Recursos: material/Instrumentos
Contextualización plan de trabajo.	*Contextualizar el plan de trabajo de la intervención.	
Micro-clase magistral: *Interferencias analíticas *Calibración por equiparación de matriz (EM). <i>Recordatorio:</i> *Curva de calibración (Rango lineal, LOD, LOQ, Sensibilidad analítica, intervalo útil de trabajo). *Hoja de cálculo de Excel: Gráfico de dispersión * Función Estimación lineal.	*Exponer algunos aspectos conceptuales sobre las interferencias analíticas en EAA-llama e inherentes de la calibración por EM.	Plataforma Skype /presentación PP.
POGIL 2: Calibración EAA-llama: Metodología equiparación de matriz	*Los objetivos de aprendizaje de contenido y de proceso descritos en el material POGIL diseñado.	Actividad POGIL 2/ Plataforma Skype (salas).

Actividad	Objetivo	Recursos: material/Instrumentos
Comentarios finales: balance actividad/feedback/material adicional de refuerzo.	*Retroalimentar, de acuerdo con lo visto, un breve balance de la actividad. *Escuchar el feedback de los equipos frente a la habilidad de PI.	Plataforma Skype / Presentación PP.
Guía POGIL Trabajo de laboratorio simulado 1: Calibración estándar.	*Aplicar los conocimientos vistos en la calibración estándar y de equiparación desde un laboratorio simulado sobre biosorción de Cr con virutas del WB.	Simulador Macromedia FLASH 8/ Guía POGIL/ Hoja de cálculo de Excel/ Plataforma Skype (salas).
Guía POGIL Trabajo de laboratorio simulado 2: Calibración equiparación de matriz.		
Prueba de conocimientos.	*Mirar los conocimientos después de la implementación.	Prueba Google forms/ Plataforma Skype /Presentación PP.
Comentarios finales: balance actividad/feedback.	*Retroalimentar, de acuerdo con lo visto, un breve balance de la actividad. *Escuchar el feedback de los equipos frente a la habilidad PI.	Plataforma Skype / Presentación PP.

Fuente: Autor.

Frente al diseño de la PE es importante mencionar las siguientes consideraciones:

- Se vinculó el equipo Perkin-Elmer debido a que el investigador tuvo la oportunidad de manejarlo en su formación inicial de Pregrado; adicionalmente, los datos encontrados en la metodología estándar y EM para la determinación de Cr se hicieron con este. Las condiciones estándar de operación (CEO) indicadas en manuales como Perkin-Elmer Corporation (1996) no difieren en cuanto a las metodologías de calibración sugeridas con otros modelos de EAA-llama, más bien en cuanto a las mejoras tecnológicas relacionadas con la interacción del usuario a través de la programación del método usando el computador. Por último, los futuros profesionales podrían enfrentarse a modelos de espectrofotómetros Perkin-Elmer durante su actuación profesional en ámbitos industriales, académicos o científicos, de ahí también la necesidad de que conozcan la calibración en este tipo de instrumentos, como sus CEO; que, en el caso de la presente investigación lo realizó desde una aproximación inicial a través de un trabajo de laboratorio virtual.
- El profesor, en este caso, bajo su rol de facilitador debe planear las actividades basadas en lo que busca que los estudiantes aprendan, en concordancia con los logros de aprendizaje (-de contenido y -de proceso) a desarrollar. Por tanto, entra un proceso de reflexión sobre lo que se busca cubrir en cuanto a los contenidos, los prerrequisitos (conocimientos y/o habilidades), el tiempo, los recursos necesarios, la evaluación, los posibles aspectos desafiantes en la implementación; y sobre todo la redacción y diseño

de las actividades (dado que es importante el tipo de lenguaje con que el profesor se dirige a sus estudiantes, en este caso a través de la actividad; pues, podría darse una interpretación diferente de la esperada por el facilitador versus la de los ET, con respecto a lo que se busca que los mismos reporten en sus actividades o hagan con el manejo de los modelos planteados).

- c) Conformar ET de integrantes tres a cuatro; en el caso de equipos de 3, uno de los integrantes tomará dos roles. En futuros trabajos de equipo, se sugiere rotar los roles. En una actividad inicial, presentar los roles que desempeñarán cada uno de los integrantes de los equipos de trabajo conformados. Se sugiere que cada equipo delegue el rol, lean las funciones de cada uno y socialicen con la clase las funciones de cada uno; esto, haciendo uso de preguntas orientadoras por parte del facilitador.
- d) Es importante inicialmente motivar a los estudiantes, invitándolos a trabajar colaborativamente para cumplir con las metas establecidas; haciéndoles énfasis en la necesidad de fortalecer los aspectos teóricos y metodológicos que se verán en las intervenciones en el aula pues estos serán de gran utilidad en los contextos donde vayan a desenvolverse (académico, industrial o científico); adicionalmente, recalcarles porque son importantes las habilidades de proceso. Lo anterior, haciendo alusión a situaciones de casos relacionados con la demanda laboral según sus aspiraciones (sean a nivel local, nacional o internacional). Adicionalmente, invitarlos a que el equipo lleve un nombre que les guste o llame la atención con el fin de motivar aún más las intervenciones en el aula de clases.
- e) Presentar a los estudiantes, las reglas en el aula de clases frente a la metodología que se va a desarrollar, así como las actividades, los logros de aprendizaje (-de contenido y -de proceso). Adicionalmente, los productos que deben entregar al facilitador, el tiempo, la forma en que estos serán evaluados y los porcentajes de estos. Lo anterior, llegando a acuerdos a los que haya lugar.
- f) Para la programación y diseño de las animaciones interactivas del simulador, se empleó el software de versión gratuita Macromedia Flash Professional 8; apoyado con las indicaciones de programación y los diversos códigos expuestos en la obra de Oros (2007). Se empleó dicho software debido a su fácil manejo, adquisición, y que el investigador tuvo la oportunidad de manejar durante su formación inicial de Pregrado. Para más información acerca del Programa, sus herramientas y formas de programación se invita a consultar la siguiente página web: <https://jwilmar2007.files.wordpress.com/2013/03/flash-aulacli-es1.pdf>
Uno de los pensamientos ideales en el diseño de un simulador es que en la medida de lo posible este alojado en un sitio web para que este a disposición del público interesado y sea ejecutable en los diversos sistemas operativos (SO); sin embargo, debido a las actualizaciones paulatinas que han surgido en los navegadores web ya no es posible subir animaciones realizadas en programas relacionados con versiones de Flash 8. No obstante, esta limitación no imposibilita que se pueda descargar los archivos ejecutables de la animación y que está pueda ser reproducida en SO desde Windows XP hasta versiones más actuales para que el usuario al que va dirigida pueda interactuar con la misma.
- g) El TLV (ver Anexo 4) se realizó articulando algunas de las condiciones óptimas de sorción encontradas en la estandarización del proceso de biosorción de Cr en aguas residuales sintéticas. Para ello, en la guía estructurada el investigador expuso, para futuras investigaciones en las que se desee emplear las virutas, en este caso, sin modificación fisicoquímica, se debe presecar dicho material a una temperatura de 105°C de tal forma que pueda triturarse a un tamaño de partícula 5 mm; posteriormente, las aguas residuales

sintéticas que contiene la carga de metales señaladas en la sección 7.5.2 de Cr, Zn y Cu se debe ajustar el pH a 5,0 unidades, bajo agitación 200 RPM, con dosis de 2 g/L.

h) Dadas las condiciones ocasionadas por la COVID-19 y desafíos importantes, particularmente, en espacios de formación académica de diferentes niveles educativos en todo el mundo, llevo a que los profesores en formación inicial, avanzada y post-avanzada repensarán acerca de su práctica profesional docente; pues, era importante no detener los procesos de formación ciudadana (vía sincrónica o telepresencial). El cambio de los escenarios de un aula de clases físico pasó a ser en la gran mayoría de casos un espacio virtual (educación remota de emergencia), ayudado de diversas herramientas TIC diseñados y divulgados por diferentes equipos e instituciones del mundo (plataformas virtuales, mediaciones tecnológicas -simuladores, videos animados-, etc.). Esta no fue una excepción para la implementación de la PE diseñada aquí.

El facilitador observó en cada intervención sincrónica-virtual como los ET interactuaban entre integrantes y ET frente a la interpretación de los modelos así como de la interpretación de la información de un determinado concepto (expuestos en el material POGIL diseñado); adicionalmente, el feedback se realizó constantemente a los ET dada la importancia de despejar inquietudes, reorientar la interpretación de una determinada pregunta o acción orientadora, la interacción entre y con otros miembros de ET –a través de los roles correspondientes-; así como el motivar a los participantes en cuanto a la importancia de lo que están viendo, las habilidades de proceso –PI- y su implicaciones en su formación ciudadana.

En el proceso de feedback o de aclarar alguna inquietud frente a un determinado modelo, pregunta o acción orientadora es importante que el facilitador guíe al ET a través de acciones o preguntas que lleven a la interpretación apropiada del ET frente a lo que se le pide; esto, sin dar la respuesta o información esperada de una forma directa. Adicionalmente, junto a la evaluación establecida en común acuerdo con los participantes es importante ofrecer retroalimentación constante para que los ET a los que pertenecen tengan la oportunidad de refinar sus actividades, para complementar sus acuerdos, para que vaya de la mano con lo que el facilitador espera y la forma de evaluación no se afecte.

7.5.3. Fase de análisis frente al fortalecimiento de la habilidad de proceso PI.

Los participantes de la investigación tras cada sesión de intervención por parte del investigador entregaban: la prueba de conocimientos y habilidad PI (antes y después de la implementación-individual), actividades POGIL 1 y 2 (ET), TLV (ET) y los formatos diligenciados del analista de procesos (ET).

Cabe indicar que, para el caso de los productos colectivos los ET los entregaban tras incorporar las sugerencias brindadas por el facilitador en el proceso de retroalimentación; asimismo, los integrantes analizaban frente a los acuerdos expresados por sus compañeros de clase la necesidad de incluir algún aspectos conceptual o metodológico que omitieron para refinar la actividad (dadas las categorías de evaluación que previamente se les indicó a los participantes para emitir la nota correspondiente).

Con respecto a los productos entregados individual y por ET se sistematizaron cada una de las respuestas consensuadas y reportadas por los participantes de acuerdo con las actividades, preguntas e ítems; esto con ayuda del software NVivo 12 Plus. Para una mayor ampliación en cuanto al uso, herramientas, manejo y bondades de este software se invita al lector a leer la investigación expuesta por Rodríguez-Hernández (2017). En el caso de la presente investigación los nodos (denominados así en el software) o categorías de análisis iniciales fueron cada una de las preguntas y/o ítems.

Para dar cuenta del fortalecimiento de la habilidad PI -antes y después-, en primer lugar, teniendo presente las categorías de esta –*evaluar, intepretar, manipular o transformar*- se asignó la valoración correspondiente según las características observables en la categoría que se buscaba evaluar en la pregunta y/o ítem –rúbrica de la Tabla 3-. Adicionalmente, con el software NVivo 12 Plus, se utilizaron algunas opciones como frecuencia de palabras y árbol de palabras; esto para respaldar las características observables -según la Tabla 3- de acuerdo con las descripciones expuestas por los participantes (individual y ET).

Cabe indicar que el software propicia la triangulación de la información, así como la interpretación frente a la misma; sin embargo, dado el alcance de la presente investigación se describen los hallazgos encontrados con el fin de dar cuenta del cumplimiento de los objetivos y respuesta a la pregunta de investigación (Rodríguez-Hernández, 2017; Jiménez, 2019).

8. Resultados y discusión.

En este apartado se presentan los hallazgos de la presente investigación, con su respectiva discusión de conformidad con las fases metodológicas establecidas, según los objetivos planteados y que guiaron la misma:

8.1. Estandarización del proceso de biosorción de Cr con virutas WB a partir de una revisión documental 2000-2021.

Como bien se mencionó en el apartado metodológico, se estructuraron las ecuaciones de búsqueda empleando las palabras claves y/o tesauros encontrados y seleccionados en idiomas español e inglés usando conectores booleanos (AND, OR) y signos de puntuación –comillas y paréntesis-. Estas se detallan en la Tabla 15.

Cabe mencionar que este tipo de estrategia de búsqueda también se empleo para la consolidación del apartado de antecedentes PyD, así como antecedentes disciplinares (según los criterios de búsqueda reseñados en cada sección).

Tabla 15. Ecuaciones de búsqueda (en español e inglés) utilizadas para la revisión documental: biosorción de Cr empleando virutas WB (2000-2021).

Ecuación de búsqueda en español	Ecuación de búsqueda en inglés
((("virutas de wet blue" OR "virutas cromadas" OR "virutas de cuero wet blue" OR "virutas del cuero curtido" OR "virutas de cromo" OR "rebajaduras de cuero wet blue" OR "rebajaduras del cuero Wet Blue" OR "rebajaduras de cuero en Wet Blue" OR "rebajaduras wet blue" OR "rebajado del Wet Blue" OR "rebajaduras cromadas" OR "aglomerado de virutas" OR "aglomerado de virutas cromadas" OR "aglomerado de virutas wet blue" OR "aglomerado de rebajaduras wet blue" OR "aglomerado de rebajaduras del cuero wet blue") AND ("tratamiento del agua" OR "agua residual" OR "agua residual sintética" OR "aguas residuales sintética" OR "aguas sintéticas" OR "agua de curtido") AND ("cromo" OR "Cr" OR "Cromo") AND ("adsorción" OR "biosorción" OR "desorción" OR "sorci3n" OR "remoci3n de cromo" OR "adsorbente" OR "sorbente" OR "remoci3n"))	((("chrome shavings" OR "wet blue shavings" OR "Wet blue shavings" OR "wet blue leather shavings" OR "wet blue leather chips" OR "wet blue chips" OR "tanned leather shavings" OR "wet blue leather trimming" OR "tanned leather waste" OR "chrome tanned solid waste" OR "chromium tanned leather waste" OR "wet blue chrome shaving" OR "chrome tanned leather shavings" OR "leather shaving wastes" OR "agglomerate of leather shavings" OR "chrome tanned leather shaving") AND ("water treatment" OR "aqueous solutions" OR "synthetic wastewater" OR "synthetic waste water" OR "wastewater treatment" OR "waste water treatment" OR "waste water") AND ("adsorption" OR "biosorption" OR "sorption" OR "removal" OR "removal of chromium" OR "adsorbent" OR "sorbent" OR "biosorbent") AND ("chromium" OR "Cr"))

Fuente: Autor.

Las ecuaciones de búsqueda ilustradas en la Tabla 15 se emplearon en diferentes fuentes de informaci3n disponibles, de acceso libre/gratuito/o a trav3s de la Universidad, y que estuvieron al alcance del investigador para encontrar diversos tipos de productos investigativos (trabajos de grado, tesis de Maestría, tesis de doctorado/post-doctorado, artícu3los, trabajos de formaci3n t3cnica/tecnol3gica/diplomados/especializaciones). En una indagaci3n preliminar en un intervalo

Con relación a las fuentes de información consultadas fueron las enunciadas en el apartado de antecedentes disciplinares (Tabla 2); las cuales correspondieron a bases de datos como Scopus, Web of Science, Lens, Pubmed, Redalyc, Scielo, Dialnet, EBSCO, ERIC, Google Scholar, Science Direct, Google Patents; asimismo algunas revistas de categoría A1 y A2 -debido a que en búsquedas preliminares con respecto al aprovechamiento de residuos de curtiembres, se han especificado este tipo de revistas (China *et al.*, 2020; Rigueto *et al.*, 2020); también repositorios institucionales a nivel local, nacional e internacional.

Lo anterior, debido a que trataban de la remoción de otro tipo de contaminantes empleando la virutas WB, con y sin modificación fisicoquímica, por ejemplo, los colorantes ácidos y básicos (Piccin *et al.*, 2012; Arthy, M. & Saravanakumar, 2013); así como otro tipo de residuos de las curtiembres aprovechados para el tratamiento de aguas residuales (sintética o reales) en la remoción de metales como el Zn(II), Cu(II), As(II) entre otros, por ejemplo, el pelo, restos de piel, etc. (Fathima *et al.*, 2005; Mella *et al.*, 2019). También revisiones sistemáticas de literatura donde se aluda a las virutas cromadas y otros materiales de las curtiembres (China *et al.*, 2020; Rigueto *et al.*, 2020).

Ahora bien, de la búsqueda y selección de productos investigativos se encontraron en total nueve (que son los tomados en el apartado de Antecedentes disciplinares). Entre estos se encontraron ocho artículos (2008 – 2017) y un trabajo de Pregrado (2015). La presentación de estos (año, referencia, revista, país, autores, título de la investigación y palabras claves) se detallan en la Tabla 16 (Anexo 9). Asimismo, en las Figuras 20 y 21 se muestran nubes de palabras referente a los términos más mencionados por los autores en sus investigaciones, así como las especificaciones de estos, respectivamente:



Figura 21. Nube de palabras frente a las especificaciones de los productos investigativos encontrados y seleccionados (artículos y trabajo de Pregrado).

96

Con respecto a la Figura 20, las palabras de mayor mención por parte de los autores en sus investigaciones son (traducidos): adsorbentes, virutas, carbón activado, adsorción, cromo, remoción, soluciones acuosas, cromo, activación, curtiembres, taninos, Langmuir, Freundlich, metal. Dichos términos están relacionados con los nodos analizados, de conformidad con las condiciones óptimas de las virutas, así como explicaciones del proceso de biosorción, modificaciones fisicoquímicas, según las categorías de análisis detallas en el apartado metodológico.

Para el caso de la Figura 21, los términos predominantes en cuanto a las especificaciones de los productos refirieron a (traducidos): protección ambiental, residuo de piel cromado, artículo, adsorción, 2011, cromo, detoxificación, remoción, virutas, Xu, Hao, Kantarli, Yanik, colágeno, Oliveira. Como se observa en la Tabla 16-Anexo 9 se detallan artículos 2008 (uno), 2010 (uno), 2011(cuatro), 2012(uno); 2015 (un trabajo de Pregrado), y 2017 (uno); estos de revistas como Journal of Hazardous Materials, 2011 International Symposium on Water Resource and Environmental Protection; Chemical Engineering Journal, American Journal of Physical Chemistry, Desalination and Water Treatment. Dentro de los autores que más han investigado las virutas WB para remover Cr fueron Wei Xu, Lifen Hao, Kantarli, Yanik. En cuanto a los países y sus porcentajes de aporte, se hallan: Cameron, Brasil, España Ecuador (10%); Morocco, China, Turquía (20%).

Por otro lado, frente a los nodos analizados con ayuda del software NVivo 12 Plus en la Figura 22 se muestra el mapa de proyecto realizado:

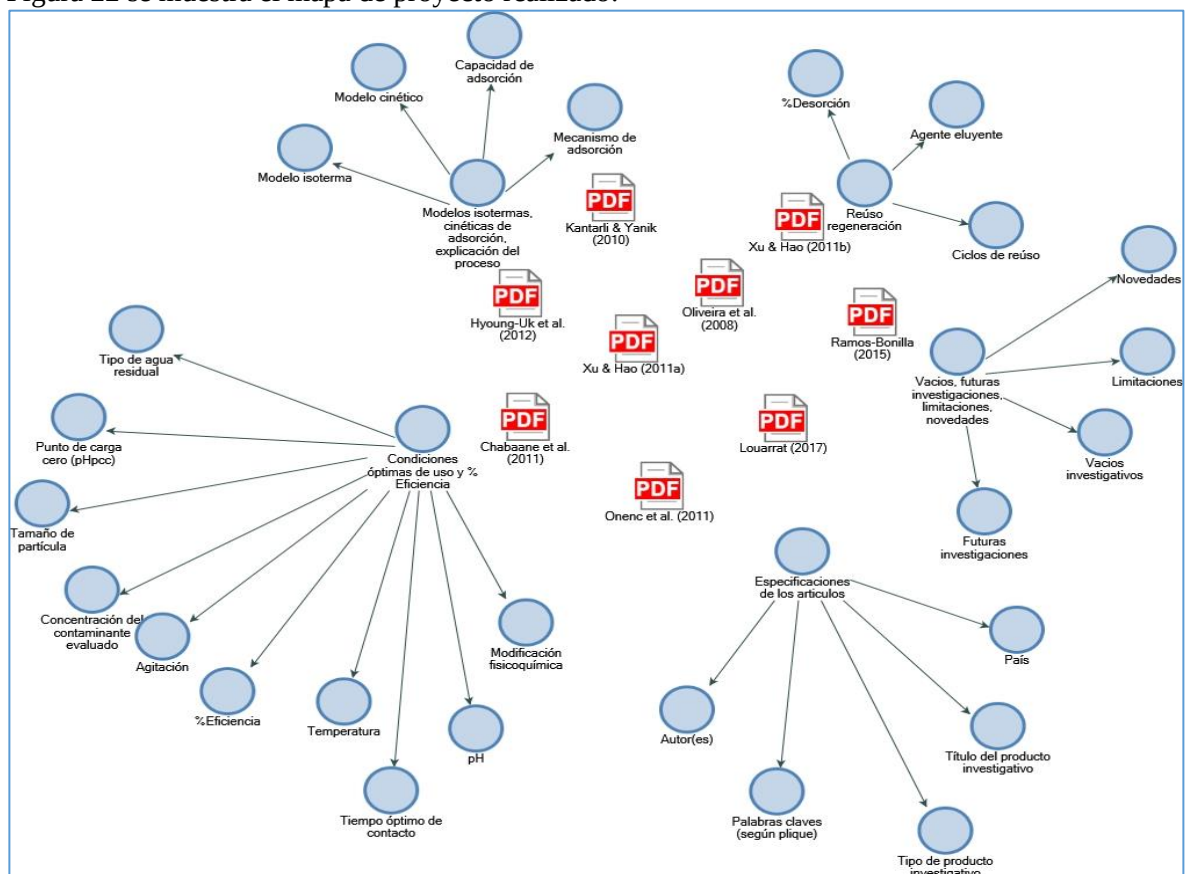


Figura 22. Mapa del Proyecto: análisis de contenido en los productos investigativos encontrados y seleccionados.

Fuente: elaborado con NVivo 12 Plus.

De acuerdo con el análisis de contenido de los productos investigativos realizados según las categorías expuestas en el marco metodológico de la presente investigación se obtuvo una matriz de COS para Cr empleando las virutas del WB –con y sin modificación fisicoquímica- en aguas residuales (sintéticas y/o reales). Esta se detalla en la Tabla 16:

Tabla 16. COS para Cr empleando las virutas WB –con y sin modificación fisicoquímica- en aguas residuales (sintéticas y/o reales).

Contaminante removido	Especie química	Tipo de agua residual	Volumen (mL) agua residual	Concentración (mg/L) contaminante	Dosis (g/L)	pH óptimo	pH pcc	Tiempo óptimo de contacto (min)	Temperatura (°C)	Tamaño de partícula	Agitación (RPM)	Modificación fisicoquímica	% eficiencia	Autor
Cr	VI	Sintética	30	10 - 1000	1	1	N.E.	1440	25	N.E.	N.E.	Carbón activado	133,33 mg/g	-a-
Cr	VI	Sintética	100	50 - 250	1	2	N.E.	120	25	670m ² /g-796 m ² /g	N.E.	Carbón activado Pirólisis (N ₂ / 450°C-600°C) Activación química con HCl/ H ₃ PO ₄ / ZnCl ₂)	126,6 mg/g - 133,3 mg/g	-b-
Cr	III	Sintética	50	10 - 50	2	6	N.E.	60	25	1,212 m ² /g	N.E.	N.A.	98,5	-c-
Cr	III	Sintética	50	10. - 100.	2	6	N.E.	30	25	N.E.	N.E.	N.A.	>90	-d-
Cr	VI	Sintética	100	20 - 100	5	4	N.E.	240	25	N.E.	250	Taninos vegetales (mimosa y extracto de castaño)	>90	-e-
Cr	VI	Sintética	100	50	1	3	N.E.	240	25	1mm	N.E.	N.A.	27,3 mg/g	-f-
Cr	III	Sintética	50	26	2	5	6,74	1440	25	1mm - 5mm	N.E.	Mimosa 15%	11,7g/kg	-g-
Cr total	N.A.	Real (etapa de curtido)	1000	>1000	0,20 - 0,80 kg/L	3,95	N.E.	N.E.	25	N.E.	N.E.	NaOH 0,1%-0,6%	99,24	-h-

Contaminante removido	Especie química	Tipo de agua residual	Volumen (mL) agua residual	Concentración (mg/L) contaminante	Dosis (g/L)	pH óptimo	pH pcc	Tiempo óptimo de contacto (min)	Temperatura (°C)	Tamaño de partícula	Agitación (RPM)	Modificación fisicoquímica	% eficiencia	Autor
Cr	VI	Sintética	100	NE	0.1	3	NA	240	30	491.05 m ² /g	200	Carbón activado (N ₂ / 500°C)	78	-i-
**N.A.: No aplica; **N.E.: No especificó.														

De acuerdo con el análisis de contenido de los productos investigativos realizados según las categorías expuestas en el marco metodológico de la presente investigación se obtuvo la matriz de las COS para Cr empleando las virutas WB –con y sin modificación fisicoquímica- en aguas residuales (sintéticas y/o reales). Esta se detalla en la Tabla 17:

Tabla 17. Modelos de isoterma, cinéticas de adsorción, capacidad máxima de adsorción, mecanismo de adsorción y proceso de desorción reportado en los productos investigativos.

Isoterma de adsorción	Modelo cinético	Capacidad máxima de adsorción (mg/g)	Mecanismo de adsorción	Agente eluyente para la desorción	Ciclos de reúso	% Desorción	Autor
Langmuir	N.E.	133,33	La forma predominante de Cr(VI) a pH 1 es (HCrO ₄) ⁻ . Puede ocurrir la complejación con los grupos OH presentes en la estructura de la proteína; interacciones electrostáticas debido al aumento de grupos catiónicos presentes en la proteína (R-NH ₃ ⁺).	N.E.	N.E.	N.E.	a-
Langmuir	NE	126,6-133,3	A condiciones altamente ácidas se presentan especies del Cr(VI) como (Cr ₂ O ₇) ²⁻ , HCrO ₄ ⁻ , Cr ₃ O ₁₀ ²⁻ , Cr ₄ O ₁₃ ²⁻ ; debido a dichas condiciones ácidas, la superficie del biosorbente comienza a protonarse favoreciendo la sorción de Cr(VI).	N.E.	N.E.	N.E.	b-

Isoterma de adsorción	Modelo cinético	Capacidad máxima de adsorción (mg/g)	Mecanismo de adsorción	Agente eluyente para la desorción	Ciclos de reúso	% Desorción	Autor
Freundlich	N.E.	8,42	Sitios activos altos en grupos carboxilos (dada la baja cantidad de oxido crómico que tiene la viruta); al incrementar el pH el Cr(III) comienza a formar oxo-complejos catiónicos puesto que es una especie iónica susceptible a hidrolizarse; los grupos carboxilos presentes en la estructura proteica comienzan a desprotonarse y a partir de ello, comienzan a producirse interacciones como la quelación o de tipo electrostático.	HCl 0,5M Tiempo de contacto óptimo: 30 minutos.	N.E.	N.E.	c-
N.E.	N.E.	39,4	El cromo (III) tienden a hidrolizarse formando complejos, de acuerdo con el pH; por tanto, los grupos carboxilo presentes en la proteína comienzan a desprotonarse favoreciendo las interacciones electrostáticas entre las especies de Cr y los grupos carboxilato.	Tartrato de potasio 1N e hidróxido de potasio 0,5N. Tiempo de contacto: 30 minutos.	6 veces	86,4	d-
Langmuir	Pseudo segundo orden	38 - 42	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	e-
Langmuir	N.E.	27,33	El Cr(VI) puede estar en forma de HCrO_4^- ; dadas las condiciones altamente ácidas los centros activos presentes en la superficie del adsorbente comienzan a protonarse favoreciendo la adsorción de especies aniónica crómicas (interacciones electrostáticas entre grupos $-\text{NH}_3^+$ y HCrO_4^-). Al aumentar el pH el COOH se desprotona aumentando la carga negativa superficial.	N.E.	N.E.	N.E.	f-
N.E.	N.E.	N.E.	La especie crómica junto con la mimosa forman un complejo (a través de los grupos hidroxilos o-fenólicos;	N.E.	N.E.	N.E.	g-

Isoterma de adsorción	Modelo cinético	Capacidad máxima de adsorción (mg/g)	Mecanismo de adsorción	Agente eluyente para la desorción	Ciclos de reúso	% Desorción	Autor
N.E.	N.E.	N.E.	Los grupos amino protonados y grupos COOH presentes en la estructura del colágeno interactúan con las especies crómicas presentes en la disolución acuosa;	N.E.	N.E.	N.E.	h-
NE	NE	57,71	Los centros activos presentes en el biosorbente comienzan a protonarse, debido a los pH ácidos altos; donde la especie $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ es la predominante según el pH determinado como óptimo.	N.E.	N.E.	N.E.	i-

Fuente: Autor.

En las Figuras 23 y 24, se muestra la marca de nube referente a las COS expuestas en la Tabla 16; así como los modelos isotérmicos, cinéticos de adsorción, proceso de desorción según la Tabla 17, respectivamente.



Figura 24. Nube de palabras con respecto a las isotermas de adsorción, modelo cinético, mecanismo de sorción y proceso de desorción.

Fuente: elaborado con NVivo 12 Plus.



Figura 23. Nube de palabras con respecto a las COS de las virutas WB –con y sin modificación fisicoquímica- para remover Cr en aguas residuales (sintéticas y/o reales).

Fuente: elaborado con NVivo 12 Plus.

Con relación a la nube de palabras en la Figura 23, se muestra los siguientes términos de mayor mención: modificación química, activación, agua residual sintética, Cr(VI), pirólisis, ZnCl_2 ; así como números asociados a las condiciones expuestas en la Tabla 16. Por otro lado, en la Figura 16 refieren términos predominantes como: favoreciendo, electrostáticas, Langmuir, condiciones ácidas, grupos presentes, adsorción, interacciones, protonación, desprotonarse, estructura proteína, colágeno, hidrolizarse, especies crómicas, carboxilo, amino, centros activos, catiónicos, mecanismo (palabras referentes a lo expuesto en la Tabla 17).

Ahora bien, con respecto a las COS de la Tabla 16, las especies crómicas que han sido más removidas con las virutas es el Cr(VI) después el Cr(III); esto está relacionado a su alta toxicidad para la salud ambiental y humana, predominancia en aguas residuales industriales, y planteamiento de nuevas tecnologías limpias para tratar dichos efluentes valorizando el uso de materiales colágenicos como las virutas WB, según los autores de las investigaciones. Con respecto a la aplicación del bio-material predomina la aplicación en matrices acuosas sintéticas en volúmenes de 30 mL a 1 L, en concentraciones del contaminante 10 mg/L a 1000 mg/L (Cr^{6+}); 10 mg/L – 100 mg/L (Cr^{3+}). Las dosis del biosorbente oscilaron entre 1 g/L – 5 g/L, pH óptimo 1 – unidades, con tiempos de contactos de 30 min – 1440 min; agitación 200 RPM – 250 RPM; modificaciones fisicoquímicas como carbón activado (CA), CA con HCl, H_3PO_4 y ZnCl_2 ; mimosa 15%, NaOH; lo anterior, con el fin de obtener eficiencias que se encontraron entre 78% a 98,50%.

Puesto que se encontraron productos investigativos sin y con la modificación fisicoquímica de las virutas WB para sorber especies Cr(III) y Cr(VI) se dividió el proceso. Acto seguido, se realizaron intervalos según las condiciones óptimas tomando el valor menor y mayor:

(a) Virutas WB sin modificación fisicoquímica para remover Cr(III).

Uso en aguas sintéticas, en volúmenes de 50 mL; a en concentraciones de 10 mg/L – 100 mg/L; dosis 2 g/L a; pH 6; tiempo de contacto 30 min-; temperatura ambiente; para obtener eficiencias >90%.

(b) Virutas WB sin modificación fisicoquímica para remover Cr(VI).

Uso en aguas sintéticas, en volúmenes de 100 mL; a en concentraciones de 50 mg/L; dosis 1 g/L a; pH 3, tiempo de contacto 240 min-; temperatura ambiente; tamaño de partícula 1 mm; para obtener eficiencias de 27,3 mg/g.

(c) Virutas WB modificadas fisicoquímicamente para remover Cr(III).

Uso en aguas sintéticas, en volúmenes de 50 mL -100 mL; a en concentraciones de 10 mg/L – 50 mg/L; dosis 2 g/L a; pH 5-6; tiempo de contacto 60 min – 1440 min-; tamaño de partícula 1,12 m^2/g -796 m^2/g ; 1 mm-5 mm; temperatura ambiente, para obtener una eficiencia del 98,5%.

(d) Virutas WB modificadas fisicoquímicamente para remover Cr(VI).

Uso de CA ($\text{HCl}/\text{H}_3\text{PO}_4/\text{ZnCl}_2$, taninos vegetales, NaOH) en aguas sintéticas, en volúmenes de 30mL -100mL; a en concentraciones de 10 mg/L – 1000 mg/L, dosis 0,1g/L-5g/L a; pH 1-4; tiempo de contacto 120 min-1440 min; agitación 250 RPM; tamaño de partícula 670 m^2/g - 796 m^2/g ; temperatura 25 °C-30 °C; agitación 200 RPM para obtener una eficiencia >78%-99.24%.

Dadas las COS presentadas, y las generalizaciones realizadas en cuanto a los intervalos expuestos anteriormente, el siguiente paso, para futuras investigaciones relacionadas, es la aplicación de las COS en matrices acuosas reales contaminadas con las especies de Cr respectivas para verificar su eficiencia. No obstante, dado que las investigaciones emplearon aguas sintéticas como un “sistema monocomponente o monometálico ideal—como se ha expresado en la literatura”, sería importante, para futuras investigaciones, analizar el efecto de condiciones ambientales (pH, temperatura, etc.) o la influencia de otras sustancias (orgánicas, inorgánicas, agentes microbiológicos) que pudieran afectar el proceso de adsorción de dichas especies crómicas. Debido a que los efluentes contaminados reales producidos por industrias que emplean materias primas con dichos elementos químicos tienen una composición química variada.

Por otro lado, según la información expuesta en la Tabla 17 se observa que las isotermas de adsorción presentadas en tanto para virutas WB sin y con modificación fisicoquímica fueron Langmuir y Freundlich y el PSO como modelo cinético; con $Q_{\text{máx}}$ entre 8,42 mg/g-133,3 mg/g. Con relación a las explicaciones ofrecidas por los investigadores frente a los mecanismos de adsorción presentados refieren a la predominancia de los centros activos superficiales tipo carboxilos y amino, presentes en la estructura del colágeno, proteína que componen las rebajaduras cromadas.

Para el caso de la especie Cr(III) se especifica la formación de oxocomplejos catiónicos, los cuales interactuarían con el centro activo desprotonado del carboxilo; otra aseveración refiere a la quelación presentada entre los grupos oxigenados del COOH (ver Figura 8). Respecto al Cr(VI) dadas las condiciones altamente ácidas predominan oxo-aniones como $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, HCrO_4^- , $\text{Cr}_3\text{O}_{10}^{2-}$, $\text{Cr}_4\text{O}_{13}^{2-}$ los cuales interactuarían con los grupos catiónicos amino (ver Figura 8) a través de interacciones electrostáticas.

Cabe mencionar que en cuanto al **tratamiento de las virutas cromadas modificadas fisicoquímicamente** algunos autores expusieron que:

Kantarli y Yanik (2010) así como Onenc *et al.* (2011) carbonizaron 50 g a 60 g en un reactor de pirólisis a 600°C; los carbones obtenidos se sumergieron en una disolución de HCl 10 %m/v por 2 h; posteriormente, los autores los lavaron con agua fría y caliente llevando de nuevo al reactor a 900°C bajo atmosfera de nitrógeno. Por otro lado, para activar químicamente la viruta, se sumergieron 50 g del material seco en 250 mL de H_3PO_4 y ZnCl_2 en relación reactivo/peso de viruta entre 0,5:1 a 2:1, dejando en contacto por 24 h dentro de un horno a 105°C; pasado el tiempo los autores llevaron la viruta al reactor de pirólisis a 600°C a 2 h, y realizaron el lavado anteriormente especificado.

Por otro lado, Xu y Hao (2011b) expusieron un proceso de “desintoxicación” de la viruta cromada presecada con el fin de liberar más sitios activos en el material; para ello, siguieron el procedimiento descrito en Malek *et al.* (2009) donde se sumergieron en disoluciones de tartrato de potasio 1 N y 0,5 N de NaOH por un período de 72 h.

En adición, Chabaane *et al.* (2011) expresaron que sumergieron 10 g por separado de cada tanino vegetal (castaño y mimosa) en dos litros de agua destilada, con 50 g de rebajadura cromada (con % humedad de 22,8%). Esto, se dejó en un tiempo de contacto de 48 h a temperatura ambiente bajo agitación constante. Luego, el material se filtró y se secó (no se mencionó la temperatura de secado).

Para el caso del **tratamiento de virutas WB sin modificación fisicoquímica**, autores como Xu y Hao (2011a) secaron previamente dicho residuo (la temperatura no se especificó); luego, tritularon las rebajaduras al tamaño óptimo de partícula (1,12 m^2/g) y según los ensayos tipo batch realizados aplicaron una dosis de 0,1 g por cada 50 mL de agua sintética.

Por último, de acuerdo con la lectura realizada de los productos investigativos encontrados y seleccionados, en cuanto a las novedades, limitaciones, vacíos y futuras investigaciones en lo tocante hasta el momento se hicieron las siguientes afirmaciones:

- (a) Hasta la fecha de la revisión documental realizada no se encuentran reportes investigativos concernientes a la aplicación de las virutas WB en aguas residuales industriales; lo anterior, para observar su potencial aplicación para descontaminar dichos efluentes en cuanto a diferentes niveles de Cr presentes en estas. Por supuesto, se auna a ello la evaluación de otras condiciones ambientales y químicas mencionadas antes que pudieran probablemente afectar la adsorción en fase sólida-líquida.
- (b) Son pocos los estudios relacionados con los procesos de desorción de las virutas del WB modificadas fisicoquímicamente contaminadas con Cr (particularmente con especies químicas hexavalentes). Este es de gran importancia en lo que refiere a la tecnología de bioadsorción, pues se busca la recuperación tanto del adsorbente como del metal, para que sean reincorporados en los procesos industriales. Adicionalmente, el agua residual tratada, según la aplicación industrial, podría estar destinada a: un reúso externo o interno

(riego de cultivos, uso en los procesos de manufactura, lavado de piezas, etc.), un aspecto relacionado con la economía circular dentro de las industrias (lo que implicaría un estudio en cuanto a evaluaciones socioambientales para analizar sus efectos en un tiempo a corto, mediano y largo plazo).

Una investigación encontrada aquí refiere al uso de HCl 0,5 M (tiempo contacto 30min.), tartratado de potasio 1 N y NaOH 0,5 N para desorber iones Cr(III) de las virutas cromadas sin modificación fisicoquímica; con porcentajes de desorción superiores al 86,4%.

- (c) Otros vacíos refieren a los ciclos del reúso del material aplicado en aguas reales; una investigación hallada refiere a 6 veces de reúso de las rebajaduras WB sin modificar fisicoquímicamente; así como la determinación del pH punto de carga cero (pHpcc); puesto que este parámetro permitiría inferir como se encontraría cargada la superficie de las virutas, es decir, positiva, negativa o neutra, deduciendo un posible mecanismo de adsorción presentado en el sistema sorbente-sorbato.
- (d) A lo anterior se une evaluaciones tecno-económicas de la tecnología de bioadsorción abordada aquí. Dicha evaluación refiere a los costos y tecnología necesaria para escalar la adsorción en fase sólida-líquida a escala industrial.
- (e) Las novedades de las investigaciones se unen frente al aprovechamiento de las virutas WB con y sin modificación para tratar efluentes acuosos contaminados con especies de Cr; expresando que es una tecnología de bajo costo, se buscó el reúso de uno de los residuos sólidos de las curtiembres, así como hallazgos preliminares en los que paulatinamente se ha buscado implementar dichos materiales para el tratamiento de las aguas residuales industriales.
- (f) Todos los vacíos mencionados anteriormente, llevarían a la formulación de futuras investigaciones (líneas, grupos y trabajos); especialmente una oportunidad para Colombia; puesto que según la revisión documental aún no se han reportado investigaciones en cuanto a la adsorción de Cr empleando las virutas WB sin y con modificación, en modalidades de formación académica como las señaladas en una oportunidad anterior.

8.2.Tratamiento de los datos obtenidos en las metodologías estándar y EM en la cuantificación de Cr en aguas residuales -con y sin presencia de Zn y Cu-.

Los datos obtenidos en la metodología estándar y EM en la cuantificación de Cr preseen aguas sintéticas se ilustran en el Anexo 8. A partir de estos, en primera instancia se realizaron las CC para Cu, Cr y Zn analizados por la metodología estándar; los cuales se ilustran en las Figuras 25, 26 y 27 junto con sus coeficientes R^2 y ecuación del gráfico. Asimismo, en la Figura 28 se expone la CC para Cr obtenida desde la metodología EM.

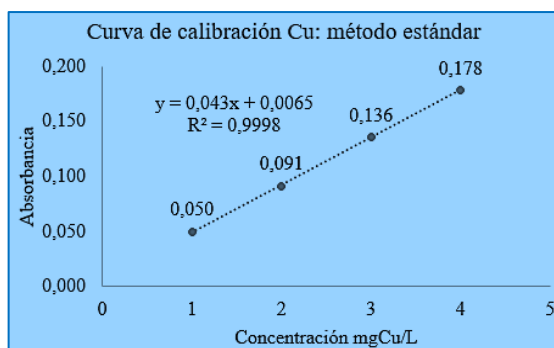


Figura 26. Curva de calibración Cu: método estándar.

Fuente: Autor.

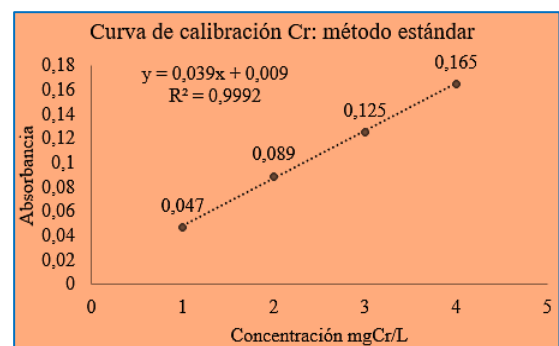


Figura 25. Curva de calibración Cr: método estándar.

Fuente: Autor.

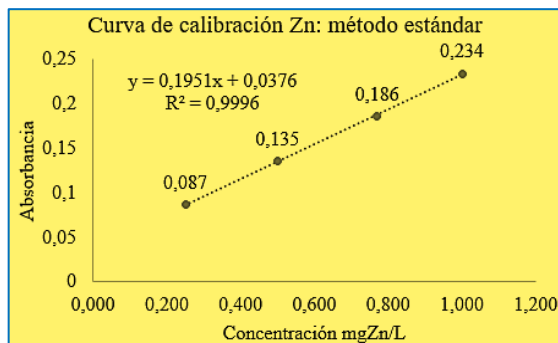


Figura 27. Curva de calibración Zn: método estándar.
Fuente: Autor.

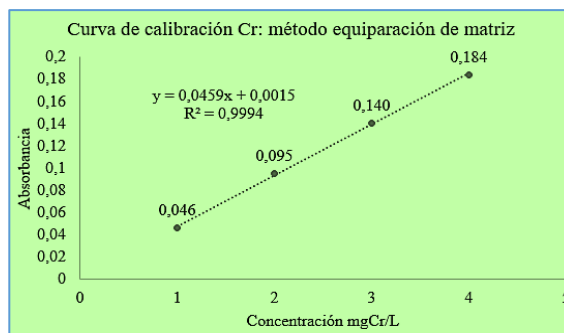


Figura 28. Curva de calibración Cr: método EM.
Fuente: Autor.

De acuerdo con las Figuras 25 a 28 en un primer análisis sobre la regresión lineal en función de los datos experimentales obtenidos, se aprecia que no se presentaron desviaciones observando los coeficientes de determinación –los cuales son superiores a 0,996-. Lo anterior, indicaría que el método presentó una correlación entre las variables independiente y dependiente. Sin embargo, se aplicó el método de minimo cuadrados, para analizar las desviaciones estándar asociadas a la pendiente y el intercepto (tratamiento que se puede observar en el Anexo 9, para cada método y metal respectivo) (Clavijo, 2002; Miller y Miller, 2010). Los parámetros obtenidos se resumen en las Tablas 18 y 19 junto con el rango lineal, LOD, LOQ (calculados con la función lineal según la Figura 14), rango útil de trabajo y sensibilidad analítica para cada metal y metodología respectiva.

Tabla 18. Atributos de la metodología de calibración estándar para Zn, Cu y Cr (ecuación del gráfico, coeficiente de determinación, rango lineal, LOD, LOQ, rango útil de trabajo y sensibilidad analítica).

Metal	Ecuación del gráfico con las incertidumbres	Coeficiente R^2	Rango lineal (mg/L)	LOD (mg/L)	LOQ (mg/L)	Rango útil de trabajo (mg/L)	Sensibilidad analítica
Zn	$A = (0,0376 \pm 5,246 \times 10^{-3}) + (0,1951 \pm 7,601 \times 10^{-3}) \times C$	0,9996	0,25-1	0,031	0,103	0,103-1	0,1951
Cu	$A = (0,0065 \pm 3,065 \times 10^{-3}) + (0,0430 \pm 3,065 \times 10^{-3}) \times C$	0,9998	1-4	0,082	0,275	0,275-4	0,0430
Cr	$A = (0,0090 \pm 5,511 \times 10^{-3}) + (0,0390 \pm 2,012 \times 10^{-3}) \times C$	0,9992	1-4	0,163	0,544	0,544-4	0,0390

A: Absorbancia; C: Concentración.

Fuente: Autor.

Tabla 19. Atributos de la metodología EM para Cr (ecuación del gráfico, coeficiente de determinación, rango lineal, LOD, LOQ, rango útil de trabajo y sensibilidad analítica).

Metal	Ecuación del gráfico con las incertidumbres	Coeficiente R^2	Rango lineal (mg/L)	LOD (mg/L)	LOQ (mg/L)	Rango útil de trabajo (mg/L)	Sensibilidad analítica
Cr	$A = (0,0015 \pm 5,824 \times 10^{-3}) + (0,0459 \pm 2,127 \times 10^{-3}) \times C$	0,9994	1-4	0,147	0,488	0,488-4	0,0459

A: Absorbancia; C: Concentración.

Fuente: Autor.

Con relación a la metodología estándar para obtener la CC de los metales Zn, Cu y Cr, según los valores de la Tabla 18, se obtuvieron R^2 superiores a 0,996 (Harris, 2010; Miller y Miller, 2010), así como incertidumbres bajas asociadas a la pendiente y el intercepto. Lo anterior muestra una linealidad entre la variable independiente –C– y la variable dependiente –A–. Particularmente, comparando la metodología estándar y EM para la cuantificación de Cr en cuanto a al valor de la pendiente –que también refiere a la sensibilidad analítica– se observó un cambio en el orden de $6,9 \times 10^{-3}$ unidades (aumento); adicionalmente, la EM en contraste con el método estándar aumento la linealidad en términos del valor R^2 , y los LOD y LOQ son más bajos, aumentando el rango útil de trabajo.

En complemento, contrastando los resultados obtenidos en la metodología estándar y EM para determinar Cr se puede inferir que los interferentes químicos (Zn y Cu) presentes en el agua residual sintética presentan un efecto sobre la señal analítica de dicho metal; esto se vió reflejado desde el cambio en la pendiente mencionado. Esto podría atribuirse a que posiblemente se presente una interferencia de ionización, puesto que el Cr presente un bajo potencial de ionización (653 KJ/mol) en comparación al Cu (745 kJ/mol) seguido del Zn (906 kJ/mol) (Harris, 2010; Skoog *et al.*, 2015; Razmilic, 2021).

Adicionalmente, se puede establecer que el método de EM en comparación a la metodología estándar presenta una sensibilidad analítica alta; y que los límites LOD y LOQ al ser bajos aumentaron el rango útil de trabajo.

8.3. Implementación, a modo de pilotaje, de la PE y análisis del fortalecimiento de la habilidad de proceso PI.

Como bien se mencionó en el apartado metodológico, los instrumentos/actividades diseñadas para la PE fueron sometidos a juicio de siete expertos (profesores de Química de formación académica avanzada (Magister) con experiencia entre tres a diez años ejerciendo su labor docente en niveles educativos de bachillerato y educación superior. De acuerdo con las categorías evaluadas en los formatos de validación dados a los profesores –formulario Google docs–, los mismos dieron un valor numérico para cada una de las categorías expuestas allí (ver Anexos 7 y 8); asimismo, brindaron algunas consideraciones para mejorar aspectos en cuanto a la redacción, gráficos, etc., de los materiales para los estudiantes al que iba dirigido.

En la Figura 29 se muestra el valor numérico predominante en cuando a las categorías evaluadas –según los formatos dados a los profesores–, así como algunas palabras referentes a los comentarios, sugerencias y/o recomendaciones dadas frente a los instrumentos/actividades:



Figura 29. Nube de palabras referente a los valores numéricos predominantes y algunos términos frente a la validación de los instrumentos/actividades de la PE.

Fuente: elaborado con NVivo 12 Plus.

Como se observa en la Figura 29, el valor dado en términos generales por los profesores fue de tres; en cuanto a su significado concierne a “evidencia sustancial o ejemplar del cumplimiento de este objetivo. No se requieren modificaciones.” Algunas de las palabras extraíbles de la nube refieren a: comentarios, indicador, alcanzar objetivos, mejorar, habilidad, adecuados, redacción, modelos, recomendaciones, comprensión, preguntas.

Dichos términos se relacionan con los comentarios, sugerencias y/o recomendaciones brindadas por los profesores según la Figura 30:

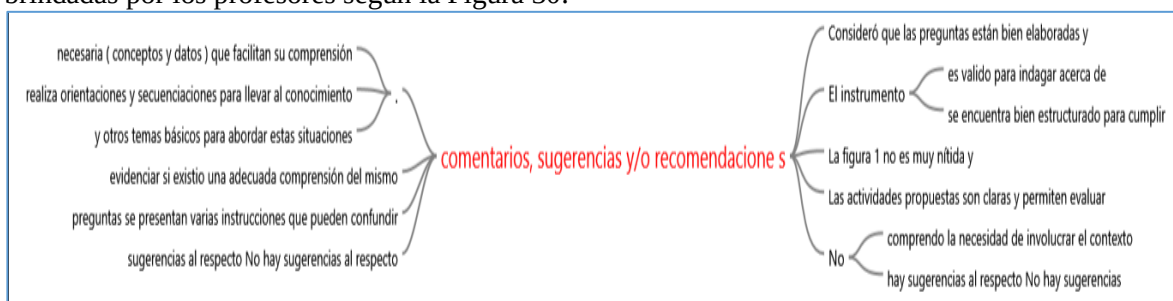


Figura 30. Arbol de palabras del nodo comentarios, sugerencias y/o recomendaciones dados en el juicio de expertos referente a los instrumentos/actividades de la propuesta de enseñanza.

Fuente: elaborado con NVivo 12 Plus.

Según la Figura 30, algunas de los comentarios, sugerencias y/o recomendaciones dados por los expertos fue “no hay sugerencias al respecto”, “realiza orientaciones y secuenciaciones para llevar al conocimiento”, “instrumento válido para indagar [...]”; “instrumento se encuentra bien estructurado para cumplir”; “consideró que las preguntas están bien elaboradas”; “la figura 1 no es muy nítida [...]”; asimismo, “preguntas presentan varias instrucciones que pueden confundir”. Dado

esto, se realizaron los ajustes a los instrumentos para posteriormente aplicarlos, según la planeación expuesta en las Tablas 13 y 14.

Siguiendo con la implementación de la PE, se realizó la ruta establecida en las Tablas 13 y 14, según las semanas señaladas –haciendo uso de herramientas TIC como plataforma Skype, Google classroom, Google docs, Youtube, presentaciones PP-. Para iniciar a los participantes se les explicó la importancia del trabajo en equipo en su formación académica continuada como en los contextos productivos en los que probablemente estarán presentes (académico, industrial y/o científico-investigativo). Después de exponerles algunas consideraciones de orden metodológico (intervención en el aula, evaluación, actividades a desarrollar, objetivos de aprendizaje (-de contenido y –de proceso) se aplicó la prueba para evaluar los conocimientos alrededor de los aspectos tocantes de la propuesta (ver Figura 19), así como el estado de la habilidad de PI a través de los indicadores que la conforman (ver Tabla 13) antes de la implementación de la PE. Los estudiantes participantes se codificaron como E1-E9 para conservar la confidencialidad y anonimato en la investigación y posterior análisis de resultados (ver Figura 31).

Acto seguido, los participantes conformaron sus ET de tres integrantes codificados como ET1 a ET3 (ver Figura 31) y crearon una sala en la plataforma Skype añadiendo al facilitador a su equipo. Luego de ello, se hizo una actividad relacionada con los roles POGIL -expuestos en el Anexo 5- que iba a desempeñar cada integrante durante el trabajo como equipo. Los ET se reunieron en las salas respectivas. El mánager designado por cada ET asignó a cada miembro un rol y realizaron la lectura de sus misiones.

Posteriormente, a través de preguntas orientadoras formuladas por el facilitador se invitó a los ET a que ingresarán a la herramienta Padlet y según el rol establecido respondieran a las preguntas (ver Figura 32). Los interrogantes orientadores fueron:

- “Enuncie brevemente una de las misiones (-del mánager, -del vocero, -del analista de procesos).”
- “El mánager subió la actividad del equipo, ¿es esa una de sus funciones (sí/no)?”
- “El analista de calidad le hizo una pregunta al profesor, ¿es esa una de sus funciones (sí/no)?”
- “El vocero diligenció el informe de procesos, ¿es esa una de sus funciones (sí/no)?”



Figura 31. Participantes de la investigación codificados como E1-E9, equipos de trabajo conformados (ET1-ET3), así como instrumentos/actividades aplicadas en la implementación de la PE.

Fuente: Autor.

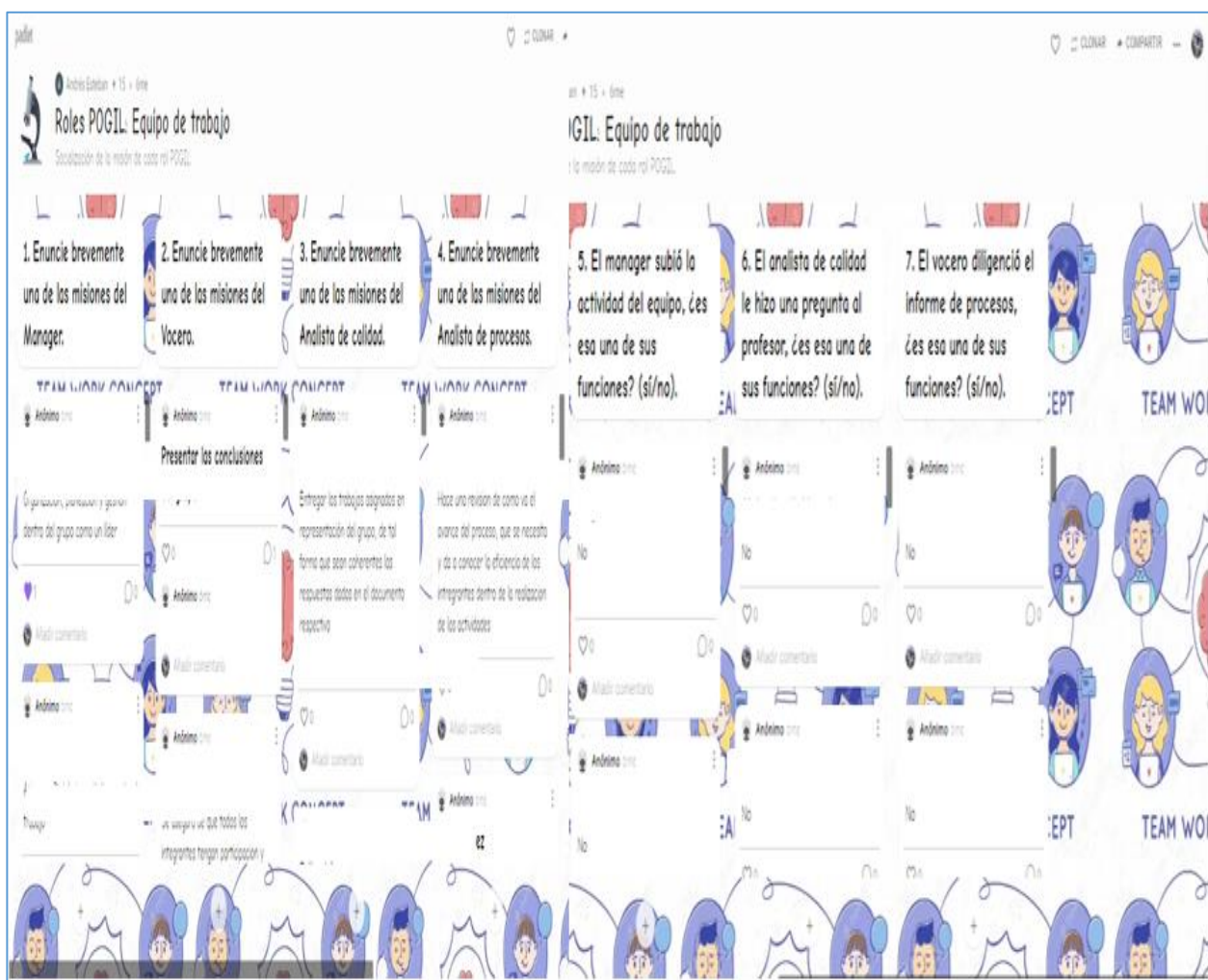


Figura 32. Herramienta Padlet con las preguntas orientadoras frente a la actividad inicial de los roles POGIL con algunas respuestas dadas por los estudiantes participantes.

Fuente: Autor.

Con respecto a los **resultados frente a la prueba de conocimientos/habilidad PI antes y después de la implementación de la PE** se tienen los siguientes resultados:

- Los estudiantes tomaron $1h \pm 9,40min$ en diligenciar toda la prueba (antes y después).
- Como bien se menciona en el apartado metodológico, la prueba de conocimientos/habilidad PI tenía una doble función, evaluar los conocimientos y analizar la habilidad PI antes y después de la implementación de la PE (bajo las categorías que la definen expuestas en la rúbrica de evaluación/retroalimentación (ver Tabla 3). Estas son –con su letra- (A) evaluar; (B) interpretar; (C) manipular o transformar (extender); (D) manipular o Extender (exactitud). Los valores en la puntuación según la rúbrica para dar evidencia de estas son 0 (no hay evidencia); 1 (minima/incorrectamente); 3 (parcialmente/algunos errores); 5 (completa/correctamente); 2 y 4 (valores intermedios) con las características observables señaladas allí).

En la **pregunta uno** -con ítems 1.1 a 1.4- se buscaba evaluar los conocimientos alrededor de las metodologías estándar y EM (como podrían definirse, hacerse y sus diferencias). Adicionalmente, las categorías A, B, C, D estuvieron presentes en estos numerales para ser analizadas. Con respecto a

La nube de palabras referente a los ítems indicados antes de la implementación de PE se muestra en las Figuras 33 y después de la implementación Figura 34. Los árboles de palabras referentes a algunos fragmentos de texto concernientes a las respuestas de los E pueden visualizarse en las Figuras 46 a 49, donde los participantes mencionaron algunas definiciones alrededor de las MCI estándar y EM.



Fuente: elaborado con NVivo 12 Plus.



Fuente: elaborado con NVivo 12 Plus.

Acto seguido, después de la implementación de la PE se observa el incremento en cuanto a los conocimientos construidos y el fortalecimiento de la habilidad PI, en una mirada inicial, en la cuatro categorías evaluadas; pues de acuerdo a la Figura 34 junto con el árbol de palabras de la Figura 47 Anexo 10 se muestran términos como: calibración, matriz, estándar, concentración, equiparados,

relacionan, tradicional, metodologías, curvas, estándares, equiparación, muestra, determinación, seleccionar, spiked, igualación, información, interferencias, interferentes, físicas, espectrales, curva de calibración, selección.

Dichas palabras se relacionan con las definiciones alrededor de las metodías de calibración estándar y EM. Por tanto, las características observables inferidas desde la lectura de las respuestas dadas por los E fueron: análisis de la información presentada de las COA tabuladas, identificación de patrones relacionados con las COA para realizar la metodología estándar y EM para analizar un metal específico, y las informaciones en cuanto a su extensión y reporte fueron acordes con lo esperado por el investigador.

En la **pregunta dos**, se evaluaron los conocimientos alrededor de las COA reportadas en una tabla para un determinado metal –Cr- Las categorías A, B, C y D estuvieron presentes en estos numerales para ser analizadas. Con respecto a lo esperado por el investigador frente a las respuestas de los E era el análisis de la información presentada en la figura del instrumento –tabla sobre COA para Cr tomada del manual Perkin-Elmer-, selección de la opción adecuada desde la interpretación de la información presentada según los posibles constructos previos alrededor de las COA, justificando su elección. Inicialmente los estudiantes se ubicaron: 1A, 1B, 1C, 1D; después de la implementación, todos los E se ubicaron en 5A, 5B, 5C y 5D.

El árbol de palabras referente a los ítems indicados antes de la implementación de PE se muestra en las Figuras 35 y después de la implementación Figura 36.



Figura 35. Árbol de palabras frente a la selección realizada por los E en el numeral 2 antes de la implementación de la PE.

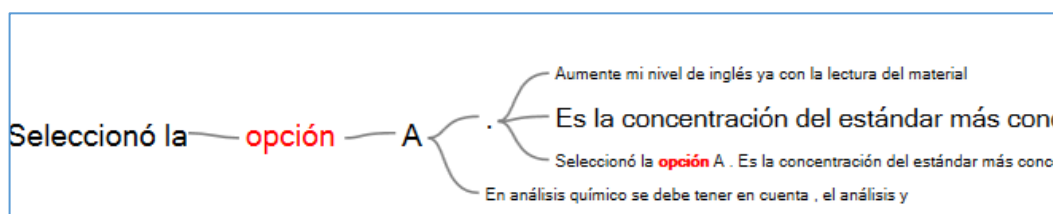


Figura 36. Árbol de palabras frente a la selección realizada por los E en el numeral 2 después de la implementación de la PE.

Frente a los conocimientos previos que tenían los E antes de la implementación de la PE según la Figura 35 no reportó en la gran mayoría justificación frente a la elección realizada; encontrándose selecciones A, B, C y D. No se apreciaron características observables en cuanto a las categorías de la habilidad PI evaluadas.

Por otro lado, después de la implementación de la PE se observó el incremento en cuanto a los conocimientos construidos y el fortalecimiento de la habilidad PI, en una mirada inicial, en las dos categorías evaluadas; pues de acuerdo a la Figura 36 en el árbol de palabras se observó de que

todos los E seleccionaron la opción A, que corresponde a la CCC como parámetro de referencia para realizar el procedimiento de calibración junto a las CSO; y que en su interpretación refiere a la concentración del estándar más concentrado que produce una señal analítica de 0,200 unidades de absorbancia (respuesta espera por el investigador y dada junto con otros aspectos por parte de los E). Las características observables inferidas desde la lectura de las respuestas dadas por los E fueron: análisis de la información presentada de las COA tabuladas, identificación de patrones relacionados con las COA para realizar la calibración instrumental para analizar un metal específico, asignando un significado acorde a lo esperado por el investigador –parafraseo- en cuanto a la COA-particularmente la CCC-.

En la **pregunta tres**, con ítems 3.1 a 3.2 se evaluaron los conocimientos alrededor de las interferencias analíticas (IA) típicas en EAA-llama (tipos, posibles formas de reducirlas/eliminarlas), así como el uso de la EM. Adicionalmente, las categorías A, B, C y D estuvieron presentes en estos numerales para ser analizadas. Con respecto a lo esperado por el investigador frente a las respuestas de los E era la clasificación de las interferencias analíticas presentadas en la tabla del instrumento junto con algunas formas de reducirlas/eliminarlas, adicionalmente debían justificar la misma. Asimismo, teniendo en cuenta la información tabulada en cuanto a las COA debían observar cuales IA posiblemente estarían presentes en el análisis del metal señalado, y de acuerdo con las respuestas dadas clasificarán las IA encontradas; adicionalmente, frente a las interferencias clasificadas se esperaba que indicarán cuando debían emplear la EM.

Inicialmente los estudiantes se ubicaron: 2A, 2B, 2C y 2D; después de la implementación, todos los E se ubicaron en 5A, 5B, 5C Y 5D.

La nube de palabras referente a los ítems indicados antes de la implementación de PE se muestra en las Figuras 38 y después de la implementación Figura 37. Los árboles de palabras referentes a algunos fragmentos de texto concernientes a las respuestas de los E pueden visualizarse en el apartado de anexos



Figura 38. Nube de palabras frente a las respuestas dadas por los E antes de la implementación de PE en los ítems 3.1 a 3.2 del instrumento inicial.

Fuente: elaborado con NVivo 12 Plus.



Figura 37. Nube de palabras frente a las respuestas dadas por los E después de la implementación de PE en los ítems 3.1 a 3.2 del instrumento inicial.

Fuente: elaborado con NVivo 12 pLus.

Frente a los conocimientos previos que tenían los E antes de la implementación de la PE se observó conceptos asociados, y relacionados con la Figura 38: muestra, equiparación, espectadores, bandas, químicas, seleccionadas, onda, absorción, interferencias, físicas, longitud, monocromador, ionización, propiedades, mensurando, interferencia, espectrales, analítica, longitudes anchas, alternas, líneas, densidad, ionizables. Inicialmente, los E relacionaron algunas interferencias analíticas desde sus saberes previos alrededor de las propiedades físicas, químicas, y de absorción inherentes a la matriz o al analito, que en algunos casos aplicaba la ubicación realizada en otros no. Algunas de las características observables inferidas en cuanto a las categorías de la habilidad PI desde la lectura de los instrumentos fueron: no indicaron que información tomaron como base para ubicar los términos expuestos en el instrumento frente a las IA; aunque trataron de ubicar todas las IA según el tipo, no ofrecieron una justificación con respecto a lo reportado.

Acto seguido, después de la implementación de la PE se observó el incremento en cuanto a los conocimientos construidos y el fortalecimiento de la habilidad PI, en una mirada inicial, en las dos categorías evaluadas; pues de acuerdo a la Figura 37 junto con al árbol de palabras de la Figura 50 Anexo 11 se muestran términos como: nebulización, seleccionadas, onda, equiparación, analíticas, químicas, interferencias, matriz, físicas, espectrales, longitud, absorción, aspiración, propiedades, monocromador, densidad, tensión, viscosidad, mensurando, sustancias, agentes liberadores, adición, formación de átomos, absorbancia, señal analítica.

Dichas palabras se relacionaron con las IA de tipo químico, físico y espectral a las cuales los E justificaron su respuesta (ver Figura 50 Anexo 11); en estas vinculaban el efecto la IA sobre la señal analítica, formas de reducirlas/eliminarlas, cuales IA podrían encontrarse en un método analítico como el expuesto para un metal específico –Cr-. Por tanto, las características observables inferidas desde la lectura de las respuestas dadas por los E fueron: análisis de la información presentada de las COA e IA tabuladas, identificación de patrones relacionados con posibles formas de reducir/eliminar el efecto de IA, así como el uso de la EM para analizar un metal específico en presencia de IA, y las selecciones y justificaciones reportadas fueron acordes con lo esperado por el investigador.

En la **pregunta cuatro**, se evaluaron los conocimientos alrededor de la posible planeación y ejecución de la metodología estándar y EM para el análisis de un determinado metal dada por los E. Adicionalmente, las categorías A, B, C y D estuvieron presentes en estos numerales para ser analizados. Con respecto a lo esperado por el investigador frente a las respuestas de los E era la descripción de un procedimiento breve, utilizando las COA expuestas en el instrumento, junto con un material del laboratorio –el cual los participantes podían añadir insumos adicionales-, acerca de como podrían realizar la calibración instrumental en EAA-llama por las metodologías estándar y EM; en este caso, para cuantificar un determinado metal –Cr-. Inicialmente los estudiantes se ubicaron: 3A, 3B; 3C Y 3D; después de la implementación, todos los E se ubicaron en 5A, 5B, 5C y 5D.

La nube de palabras referente a los ítems indicados antes de la implementación de PE se muestra en las Figuras 40 y después de la implementación Figura 39. Los árboles de palabras referentes a algunos fragmentos de texto concernientes a las respuestas de los E pueden visualizarse en el apartado de Anexo 11:

interferentes sobre dichos parámetros. Adicionalmente, las categorías A, B, C y D estuvieron presentes en estos numerales para ser analizados.

Con respecto a lo esperado por el investigador frente a las respuestas de los E era la relación de las definiciones presentadas en el instrumento, con relación a los atributos mencionados anteriormente y que se pueden extraer de una CC seleccionada; posteriormente, el tratamiento de datos obtenidos de la lectura de los patrones y la muestra por las metodologías mencionadas anteriormente; lo cual implicaba realizar una curva de calibración debidamente rotulada, así como una justificación en términos de su elección y ubicación de los parámetros enunciados. Adicionalmente, que los E especificarán si estos últimos cambiaron o permanecieron igual.

Lo anterior, implicaba la interpretación de la información involucrada allí y que era relevante para realizar la actividad; asimismo, la transformación de información tabulada, y justificación de las CC elaboradas y seleccionadas –junto con los atributos expuestos antes-. Inicialmente los estudiantes se ubicaron: 2A, 2B, 2C y 2D; después de la implementación, todos los E se ubicaron en 5A, 5B, 5C y 5D.

El árbol de palabras referente a los ítems indicados antes de la implementación de PE se muestra en las Figuras 41 y 45 y después de la implementación Figura 42, 43 y 44.

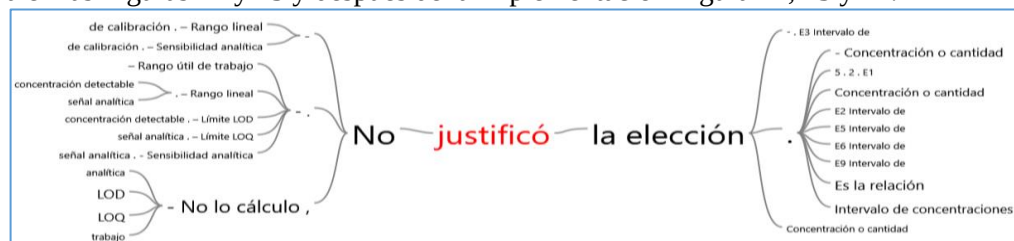


Figura 41. Árbol de palabras referente a las respuestas dadas por los E frente a la elección de los parámetros extraíbles de una CC seleccionada antes de la implementación de la PE.

Fuente: elaborado con NVivo 12 Plus.

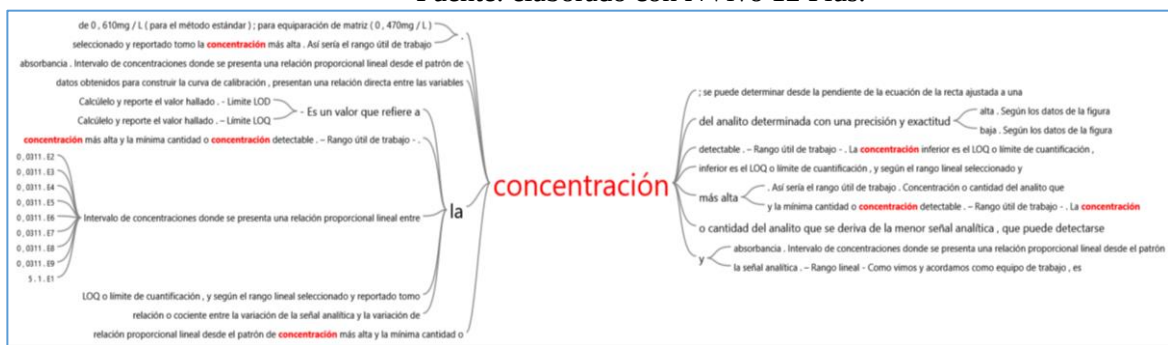


Figura 42. Árbol de palabras referente a las respuestas dadas por los E frente a la elección de los parámetros extraíbles de una CC seleccionada después de la implementación de la PE.

Fuente: elaborado con NVivo 12 Plus.



Figura 44. CC reportada por E3 antes de la implementación de la PE.

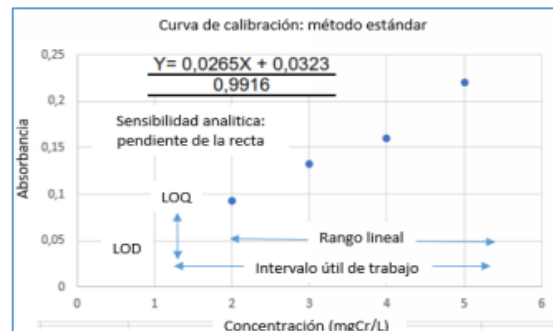


Figura 43. CC reportada por E3 después de la implementación de la PE.



Figura 45. Árbol de palabras referente a las respuestas dadas por los E frente a la elección de los parámetros extraíbles de una CC seleccionada después de la implementación de la PE.

Fuente: elaborado con NVivo 12 Plus.

De acuerdo a las Figuras 41 y 45, se pudo inferir con respecto a los conocimientos previos que tenían los E antes de la implementación de la PE se observó baja relación con los atributos extraíbles de una CC alrededor de las definiciones presentadas; pues, aunque la mayoría intentó realizar una asociación parámetro-definición no justificaron la relación establecida.

Con relación a la obtención de una CC los E reportaron gráficos como el presentado en la Figura 45 apreciando la ausencia de rótulos en los ejes, sin la ecuación del gráfico ni coeficiente R^2 . Adicionalmente, no se ubicó sobre el mismo los parámetros antes enunciados. Por último, no se expuso el efecto de los interferentes sobre dichos atributos.

Acto seguido, después de la implementación de la PE se observó el incremento en cuanto a los conocimientos construidos y el fortalecimiento de la habilidad PI, en una mirada inicial, en las cuatro categorías evaluadas; pues de acuerdo a la Figura 42 y 44 los estudiantes relacionaron correctamente las definiciones presentadas con su respectivo término (atributo extraíble de una CC), justificando su elección (vinculando palabras inherentes del LOD, LOQ, rango lineal, intervalo útil de trabajo y sensibilidad analítica). Por otro lado, los E construyeron gráficos como el ilustrado, a modo de ejemplo, en la Figura 43; en este se muestran los ejes X, Y rotulados, título del gráfico, y se señalaron los parámetros enunciados.

Adicionalmente, los E aludieron al gráfico construido una justificación de su elección, mencionando el coeficiente de determinación, el cual se esperaba fuera superior a 0,996 o lo más cercano a 1. Asimismo, desde los atributos mencionados especificaron su cambio, expresando que posiblemente podría estar atribuido a interferentes químicos presentes en la matriz analítica.

De acuerdo con los aspectos generales analizados comparando el estado inicial y final desde la prueba de conocimientos/habilidad PI frente al fortalecimiento tanto de los aspectos conceptuales y/o metodológicos referentes a las metodologías de calibración instrumental en EAA-llama: métodos estándar y EM; así como las categorías A, B, C, D que conforman la habilidad PI en el grupo de participantes se observó que la PE en su conjunto (metodología abordada, instrumentos/actividades empleados, retroalimentación por parte del facilitador y entre ET) ayudó a fortalecer la misma en el grupo de E con el que se implementó.

Lo anterior, se observó desde el análisis realizado alrededor de las respuestas individuales dadas por los participantes en sus pruebas, en los cuales se ven implícitos los conceptos y procesos relacionados con las metodologías de calibración mencionadas; esto, desde la observación de características inherentes a las categorías que conforman la habilidad PI.

Asimismo, en términos generales **frente al desarrollo de las actividades grupales POGIL 1, 2 y el trabajo de laboratorio simulado** cabe mencionar que:

- a) Estas ayudaron a fortalecer dichos aspectos y la habilidad mencionada; pues, como lo han expresado algunos autores citados en el marco conceptual los conocimientos se

construyen desde los saberes previos del estudiante, en constante interacción con su equipo de trabajo, con el fin de argumentar, discutir y llegar acuerdos frente a una determinada tarea o concepto específico.

- b) A esto se une la constante retroalimentación a los ET conformados en la investigación; pues, el profesor bajo su rol de facilitador orienta los procesos de acuerdo con lo que observa en la interacción E-E o ET-ET; asimismo, redirige en la interpretación de un determinado concepto, texto, modelo o acción orientadora que los educandos no comprenden, sin dar la respuesta explícita. Más bien, el facilitador formula preguntas que lleven a los ET a revisar el material POGIL diseñado y haciendo ejemplos que puedan mejorar la comprensión según la inquietud generada.
- c) En el proceso de formación de los educandos es importante motivar a los estudiantes; para el caso de la presente investigación esto se dió a través de la retroalimentación constante que se realizaba a los ET. Añadido a esto, ofrecer la oportunidad a los ET en mejorar las actividades que entregaban, pues en ocasiones se omitía información que era importante incluir para continuar realizando otras actividades y que en algunas oportunidades les impedía avanzar sin tener claro lo que debían realizar.
- d) Aunque el escenario virtual del laboratorio contemplado aquí no reemplaza el trabajo en el laboratorio real, este se convirtió en un primer acercamiento hacia el uso de un equipo instrumental de EAA-llama –mediado por las TIC-; que, les permitió a cada uno de los integrantes de los ET conformados aplicar los aspectos conceptuales y/o metodológicos abordados a lo largo de las intervenciones.
Este tipo de espacios virtuales llamó la atención de los participantes, motivándolos aún más en la realización de la actividad; pues, el trabajo de laboratorio virtual involucrado aquí envolvía lo que en un trabajo analítico tradicional debe realizarse como ET.
- e) La evaluación se convirtió en otro factor esencial dentro de los ET; pues, desde el informe del analista de procesos –uno de los roles POGIL que desempeñaba un E- se reportaba al facilitador el trabajo en equipo realizado, la evaluación que consensuadamente se asignaban los ET (en una escala de 0 a 5), así como algunas consideraciones de mejora dadas por el equipo en cuanto a la habilidad PI que se estaba buscando fortalecer; asimismo, ofrecían retroalimentación a los miembros del grupo conformado para futuras actividades con el fin de cumplir con la tarea asignada. Adicionalmente, ofrecieron algunas frases al facilitador frente a la metodología utilizada como: “estuvo muy interesante el método PPOGIL con el uso de roles”-E1-; “los roles nos pusieron en un contexto, por ejemplo, en las empresas los utilizan” -E3-; “estuvo muy chévere el trabajo en equipo a pesar lo del COVID” –E5-, “gracias por estos conocimientos de absorción atómica y calibración instrumental, por que serán de gran ayuda cuando termine mi formación y comience a ejercer mi rol” –E7-.
- f) Dado que el tiempo es uno de los factores que afectan este tipo de implementaciones educativas –así como en la práctica profesional docente-, es importante realizar una constante retroalimentación a los ET con el fin de que se cumplan las expectativas mutuas; pues el facilitador espera resultados favorables según los objetivos de aprendizaje (-de contenido y –de proceso) planteados tratando, en la medida de lo posible, de cumplir con los contenidos necesarios abordar. Asimismo, los educandos esperan entregar completamente y de una forma correcta las actividades que se les ha asignado, pues no se puede desconocer el efecto de la evaluación cuantitativa en los procesos de formación ciudadana en cualquier nivel educativo.

9. Conclusiones.

De acuerdo con la pregunta problema formulada para la presente investigación, así como los objetivos planteados, en concordancia con la metodología y hallazgos encontrados se concluyen los siguientes aspectos:

1. Se fortaleció la habilidad de proceso –*Procesamiento de Información*- en un grupo de estudiantes universitarios de una carrera afín a la Química –profesores en formación inicial del PLQ-UPN-; esto con la implementación de una propuesta de enseñanza, a modo de pilotaje, usando el método POGIL, que articuló aspectos conceptuales y/o metodológicos inherentes de algunas metodologías de calibración instrumental en Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama (métodos estándar y equiparación de matriz) acompañada de un trabajo de laboratorio virtual sobre un proceso de biosorción de Cr con virutas Wet Blue.

El análisis de la habilidad de proceso objeto de estudio en el grupo de participantes con los cuales se implementó la propuesta de enseñanza diseñada mostró resultados favorables en cuanto al fortalecimiento de la misma. Principalmente, esto se vió reflejado desde el análisis llevado a cabo en los productos escritos entregados -via virtual- por los equipos de trabajo y participantes, observándose una progresión sucesiva en cuanto a las categorías A, B, C y D que conforman dicha habilidad; donde los participantes presentaron puntuaciones entre 1 (mínima/incorrectamente) y 3 (parcialmente/algunos errores) antes de la implementación. Luego de la aplicación de la propuesta, los participantes obtuvieron valores de 5 (completa/correctamente) en cada una de las categorías enunciadas. Esto como parte de una constante retroalimentación y motivación realizada a los equipos de trabajo.

Lo anterior, se observó desde las características observables en cada una de las categorías de la habilidad en términos de que los participantes indicaron que información era relevante cual no en cuanto a la asignación dada; asimismo, asignaron un significado apropiado desde su propia interpretación. En suma, determinaron que información era relevante para cumplir con la tarea asignada para transformarla en un nuevo formato indicado y de forma correcta según lo esperado por el facilitador.

2. Para la estandarización del proceso de biosorción de Cr en aguas residuales (sintéticas y/o industriales) empleando las virutas cromadas se encontraron pocos productos investigativos de la revisión documental realizada (ocho artículos y un trabajo de Pregrado en el periodo de 2008 a 2017). En términos de las condiciones óptimas de sorción los productos investigativos mostraron los hallazgos del uso de las virutas cromadas con y sin modificación fisicoquímica, para remover Cr(III y VI) mayoritariamente en aguas sintéticas, donde los valores especificados fueron:

Virutas WB sin modificación fisicoquímica para remover Cr(III): Uso en aguas sintéticas, en volúmenes de 50 mL; a en concentraciones de 10 mg/L – 100 mg/L; dosis 2 g/L a; pH 6; tiempo de contacto 30 min-; temperatura ambiente; para obtener eficiencias > 90%.

Virutas WB sin modificación fisicoquímica para remover Cr(VI): Uso en aguas sintéticas, en volúmenes de 100mL; a en concentraciones de 50 mg/L; dosis 1 g/L a; pH 3, tiempo de contacto 240 min-; temperatura ambiente; tamaño de partícula 1 mm; para obtener eficiencias de 27,3 mg/g.

Virutas WB modificadas fisicoquímicamente para remover Cr(III): Uso en aguas sintéticas, en volúmenes de 50 mL -100 mL; a en concentraciones de 10 mg/L – 50 mg/L;

dosís 2 g/L a; pH 5-6; tiempo de contacto 60 min – 1440 min-; tamaño de partícula 1,12 m²/g-796 m²/g; 1 mm – 5 mm; temperatura ambiente, para obtener una eficiencia del 98,5%.

Virutas WB modificadas fisicoquímicamente para remover Cr(VI): Uso de AC (HCl/H₃PO₄/ZnCl₂, taninos vegetales, NaOH) con aguas sintéticas, en volúmenes de 30 mL -100 mL; en concentraciones de 10 mg/L – 1000 mg/L, dosis 0,1 g/L-5 g/L a; pH 1-4; tiempo de contacto 120 min-1440 min; agitación 250 RPM; tamaño de partícula 670m²/g - 796 m²/g; temperatura 25 °C - 30 °C; agitación 200 RPM para obtener una eficiencia >78%-99.24%.

3. El diseño de la propuesta de enseñanza envolvió la estructuración y validación –a través de juicio de expertos- de una prueba de conocimientos/habilidad de procesamiento de información, dos actividades POGIL y un trabajo de laboratorio virtual (relacionado con la biosorción de Cr empleando las virutas cromadas).

Los aspectos conceptuales y/o metodológicos abordados en la propuesta de enseñanza estuvieron relacionados con las metodicas estándar y equiparación de matriz en espectrofotometría de absorción atómica con atomización de llama; estos fueron: condiciones óptimas de absorción para un metal –en este caso Cr- expuestas en manuales como Perkin-Elmer; asimismo, lo inherente a la conceptualización de las metodologías enunciadas, así como el procedimiento analítico. Adicionalmente, la construcción y selección de una curva de calibración, con atributos como límite de detección, límite de cuantificación, rango lineal, intervalo útil de trabajo, sensibilidad analítica y el coeficiente de determinación R² (como uno de los criterios para elegir dichos gráficos). En términos de la implementación, a modo de pilotaje de la propuesta, mostró resultados favorables en cuanto al fortalecimiento tanto de la habilidad de procesamiento de información como el de los aspectos conceptuales y/o metodológicos abordados. Como bien se dijo, fue resultado de una constante retroalimentación dada por el facilitador, los consensos y dedicación por parte de los equipos de trabajo participantes.

10. Recomendaciones, limitaciones y futuras investigaciones.

Para el caso de las **recomendaciones**, el investigador expresa los siguientes aspectos:

1. Motivar a los estudiantes frente a los contenidos que verán y la habilidad de proceso que se busca fortalecer; esto, aludiendo a su importancia en su vida académica, laboral y científica.
2. Realizar una constante retroalimentación a los eqi al implementar la propuesta de enseñanza, llegando a consensos; esto, frente a las posibles inquietudes generadas, brindándoles la oportunidad de mejorar sus actividades de acuerdo a los comentarios y/o sugerencias dados entre equipos y el facilitador.
3. Continuar actualizando la revisión documental en años posteriores a los indagados aquí referente a los aspectos pedagógicos y didácticos, como los disciplinares tocantes en el presente trabajo; esto con el fin de mantener al día las futuras investigaciones relacionadas e interesadas en continuar con el tema tratado aquí.

Por otro lado, las **limitaciones** de la investigación refirieron a:

1. El fortalecimiento y análisis de una sola habilidad de proceso; esto, debido al tiempo limitado bajo el que se vió envuelto el planteamiento, diseño, aplicación del trabajo junto con la emisión del informe investigativo correspondiente.
2. La aplicación de las condiciones óptimas encontradas en la revisión documental frente al uso de las virutas Wet Blue en aguas residuales industriales con Cr.
3. La interacción física con los participantes y ET que estuvieron presentes en la implementación de la propuesta de enseñanza; lo anterior, debido a la pandemia ocasionada por el COVID-19.
4. El simulador diseñado con fines aplicativos en cuanto a las metodologías de calibración estándar y equiparación de matriz en espectrofotometría de absorción atómica de llama: (1) está limitado al análisis de tres metales (2) programado para insertar valores (3) aplicación que no se utilizar en una plataforma web, pero los archivos se pueden descargar y ejecutar en sistemas operativos de Windows XP hasta los más actuales (4) solo para un equipo de absorción atómica de llama marca Perkin Elmer.

Con respecto a las **futuras investigaciones** relacionadas con los aspectos pedagógicos y didácticos, así como los disciplinares del presente trabajo y que el autor sugiere de correspondencia con los posibles vacíos investigativos vistos; que podrían convertirse en una oportunidad de investigación junto a las limitaciones señaladas. Lo anterior, en programas de formación académica técnica, tecnológica, pregrado, postgrado, doctorado, post-doctorado, especializaciones, diplomados refieren a:

1. Aplicación de las virutas cromadas, con y sin modificación fisicoquímica, en aguas residuales reales para remover Cr empleando la estandarización de condiciones óptimas de uso presentada aquí (esto, desde una revisión documental en el periodo de 2000 hasta 2021).
2. Estudios de selectividad, pH_{pcc}, ciclos de reúso, desorción, aspectos tecno-económicos, evaluaciones socioambientales, frente al aprovechamiento de las virutas cromadas como sorbentes prometedores para remover Cr de efluentes contaminados con este metal.
3. Valorización de las virutas cromadas como materiales adsorbentes frente a otro tipo de contaminantes (como los colorantes, otros metales pesados); así como el aprovechamiento de otros residuos sólidos derivados del proceso de transformación de

las pieles para mitigar los efectos ambientales debidos a agentes orgánicos, inorgánicos o microbiológicos posiblemente presentes en aguas residuales industriales.

4. Implementación de la propuesta de enseñanza diseñada y validada en la presente investigación en espacios académicos de carreras afines a la Química (especializaciones, técnicas, tecnológicas, diplomados, pregrado, postgrado, doctorado, post-doctorado).
5. Estructuración de propuestas de enseñanza en Química analítica instrumental para temas como el abordado aquí en técnicas como, cromatografía (líquida, de gases), espectroscopia (infrarroja, Ultravioleta-Visible), absorción atómica (emisión, generador de hidruros, ICP), etc.
6. Diseño y aplicación de propuestas de enseñanza usando el método POGIL para evaluar las demás habilidades de proceso (pensamiento crítico, trabajo en equipo, comunicación oral/escrita, etc.) en los diferentes niveles de formación académica enunciados. Lo anterior, acompañado en lo posible de los materiales estructurados y validados por equipos de investigadores como POGIL y ELIPSS.
7. Los conceptos y el lenguaje empleado en la Química analítica instrumental; así como la promoción de las habilidades de proceso en esta rama de la Química –como iniciativas de grupos como ANA-POGIL-
8. Diseño de simuladores que vinculen algún tipo de situación socio-ambiental como el tratado aquí; esto, frente a instrumentos de las técnicas analítica instrumentales señaladas anteriormente.

Referencias.

- Abraham, M. R., & Renner, J. W. (1986). The sequence of learning cycle activities in high school chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 23(2), 121–143. <https://doi.org/10.1002/tea.3660230205>
- Agencia Pública de Empleo del Servicio Nacional de Aprendizaje [SENA] (2022). *Cartelera de Vacantes*. <https://agenciapublicadeempleo.sena.edu.co/spe-web/spe/cartelera>
- Agut, S., & Grau, R. (2001). Una aproximación psicosocial al estudio de las competencias. *Proyecto social: Revista de Relaciones Laborales*, 9, 13-24.
- Akpor, O. B., Gladys Onolunose-Ohiobor, G., Debby-Olaolu, T. (2014). Heavy Metal Pollutants in Wastewater Effluents: Sources, Effects and Remediation. *Advances in Bioscience and Bioengineering*. 2(4), 37-43, doi: 10.11648/j.abb.20140204.11
- Amarasiriwardena, D. (2007). Teaching analytical atomic spectroscopy advances in an environmental chemistry class using a project-based laboratory approach: investigation of lead and arsenic distributions in a lead arsenate contaminated apple orchard. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 388(2), 307–314. doi:10.1007/s00216-007-1189-z
- Arthy, M. & Saravanakumar, M.P. (2013). Isotherm modeling, kinetic study and optimization of batch parameters for effective removal of Acid Blue 45 using tannery waste. *Journal of Molecular Liquids*, 187, 189–200. doi:10.1016/j.molliq.2013.06.019
- Balaguera-Quinche, D. (2017). *IMPLEMENTACION DEL POGIL (PROCESS ORIENTED GUIDED INQUIRY LEARNING) EN LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO EN FISIOLÓGIA DIRIGIDA A LOS ESTUDIANTES DE PREGRADO EN MEDICINA VETERINARIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA* [Trabajo de Pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/60920/DavidF.BalagueraQuinche.2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bayramoglu, E., Kaptanoglu, I. (2021). Chapter 5 – Marine Collagen. *Studies in Natural Products Chemistry*, 71, 121-129. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780323910958000027#!>
- Brown, P. J. P. (2010). Process-oriented guided-inquiry learning in an introductory anatomy and physiology course with a diverse student population. *Advances in Physiology Education*, 34(3), 150–155. doi:10.1152/advan.00055.2010
- Cadena, C. (2017). Valorización del residuo sólido virutas provenientes de la industria curtidora [Trabajo de Pregrado, Universidad Central del Ecuador].
- Calderón-Mendoza, G., Esponda-Velásquez, R., Valle-Suárez, R., Ponce-Rodríguez, H. (2021). Teaching Procedural Skills in Atomic Absorption and Atomic Emission Spectrometry Using a Simulator Designed with Excel Spreadsheets to Upper-Division Undergraduate Students. *Journal of Chemical Education*. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jchemed.1c00829>
- Carter, J.A., Barros, A.I., Nóbrega, J.A., Donati, G.L. (2018). Traditional Calibration Methods in Atomic Spectrometry and New Calibration Strategies for Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. *Frontiers in Chemistry*, 6(504), 1-25, doi: 10.3389/fchem.2018.00504
- Casas, J. (2017). *Propuesta de laboratorio con nivel de apertura 2, investigación estructurada: Remoción Química y Biológica de Cr en Aguas Residuales: Un Estudio Comparado Empleando Espectrofotometría de Absorción Atómica*. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá D.C.
- Castellanos Cuellar, I. C., Vargas Molina, P. M., Varón Calderón, J. D., Velandia Cabra, J. R., & González Curbelo, M. (2018). DISEÑO DE UNA METODOLOGÍA DE CALIBRACIÓN PARA CUANTIFICACIÓN POR ABSORCIÓN ATÓMICA DE COBRE, ZINC, PLOMO, CROMO, NÍQUEL, HIERRO Y MANGANESO PARTIENDO DE SOLUCIONES PATRÓN

MULTICOMPONENTE. Encuentro Internacional De Educación En Ingeniería. <https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/416>

Chabaane, L., Tahiri, S., Albizane, A., Krati, M. E., Cervera, M. L., & de la Guardia, M. (2011). Immobilization of vegetable tannins on tannery chrome shavings and their use for the removal of hexavalent chromium from contaminated water. *Chemical Engineering Journal*, 174(1), 310–317. doi:10.1016/j.cej.2011.09.037

Chamizo, J. (2006). Los modelos de la Química. *Educación Química*, 17(4), 476-482.

Chase, A., Pakhira, D., & Stains, M. (2013). Implementing Process-Oriented, Guided-Inquiry Learning for the First Time: Adaptations and Short-Term Impacts on Students' Attitude and Performance. *Journal of Chemical Education*, 90(4), 409–416. doi:10.1021/ed300181t

China, C. R., Maguta, M. M., Nyandoro, S. S., Hilonga, A., Kanth, S. V., & Njau, K. N. (2020). Alternative tanning technologies and their suitability in curbing environmental pollution from the leather industry: A comprehensive review. *Chemosphere*, 254, 126804. doi:10.1016/j.chemosphere.2020.126804

Chojnacka, K., Skrzypczak, D., Mikula, K., Witek-Krowiak, A., Izydorczyk, G., Kuligowski, K., Bandrów, P., Kułczyński, M. (2021). Progress in sustainable technologies of leather wastes valorization as solutions for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 313, 1-12. doi:10.1016/j.jclepro.2021.127902

Christian, G. D. (2009). *Química Analítica* (6.a ed.). McGraw-Hill Education.

Clavijo, A. (2002). *Fundamentos de Química Analítica. Equilibrio iónico y Análisis Químico*. (1.a ed.). Universidad Nacional de Colombia.

Cole, R. S., Lantz, J. M. & Ruder, S. (2019b). The Process. En S. R. Simonson (Ed.), *POGIL: An Introduction to Process Oriented Guided Inquiry Learning for Those Who Wish to Empower Learners* (1.a ed., pp. 1–4). Stylus Publishing, LLC. <https://n9.cl/nwzpo>

Cole, R., Lantz, J., Ruder, S., Reynders, G., & Stanford, C. (2018). Board 25: Enhancing Learning by Assessing More than Content Knowledge. *2018 ASEE Annual Conference & Exposition Proceedings*. doi:10.18260/1-2—29991

Cole, R., Reynders, G., Ruder, S., Stanford, C., & Lantz, J. (2019a). Constructive Alignment Beyond Content: Assessing Professional Skills in Student Group Interactions and Written Work. *Research and Practice in Chemistry Education*, 203–222. doi:10.1007/978-981-13-6998-8_13

CS-POGIL (2017). Roles and Role Cards. <http://cspogil.org/Roles+and+Role+Cards>

Cuadros-Rodríguez, L., Gámiz-Gracia, L., Almansa-López, E. M., & Bosque-Sendra, J. M. (2001). Calibration in chemical measurement processes. II. A methodological approach. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 20(11), 620–636. doi:10.1016/s0165-9936(01)00111-x

Czajka, D., Reynders, G., Stanford, C., Cole, R., Lantz, J., Ruder, S. (2021). A Novel Rubric Format for Providing Feedback on Process Skills to STEM Undergraduate Students. *Journal of College Science Teaching*, 50(6), 48-56.

Deng, L., Thomas, A., & Trembach, S. (2014). Shaping the 21st-century information professional: A convergence of technical and “soft” skills for workplace success. *Proceedings of the American Society for Information Science and Technology*, 51(1), 1–4. doi:10.1002/meet.2014.14505101128

Domínguez, J. y Álvarez, V. (2001). LA FORMACIÓN INICIAL DE PROFESORADO DE FÍSICA Y QUÍMICA DE EDUCACIÓN SECUNDARIA EN LA UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, (40), 81 – 96.

Donati, G. L., & Amais, R. S. (2019). Fundamentals and new approaches to calibration in atomic spectrometry. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 34, 2353-2369. <https://doi.org/10.1039/C9JA00273A>

Eastern Florida State College (2021). POGIL Team Roles: Captain, Reflector, Recorder, Spokesperson. <https://www.easternflorida.edu/faculty-staff/cte/collaborate-events/documents/pogil-team-roles.pdf>

Eberlein, T., Kampmeier, J., Minderhout, V., Moog, R. S., Platt, T., Varma-Nelson, P., & White, H. B. (2008). Pedagogies of engagement in science. A COMPARISON OF PBL, POGIL, AND PLTL. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 36(4), 262–273. doi:10.1002/bmb.20204

ELIPSS (2017a). *Welcome Enhancing Learning by Improving Process Skills in STEM (ELIPSS)*. <http://elipss.com/index.html>

ELIPSS (2017b). *Enhancing Learning by Improving Process Skills in STEM - Implementation Guide*. http://elipss.com/images/Implementation%20Guide%20Draft_Feb%202%202017.pdf

Erazo, M. (2001). La formación de profesores de Química. "Un proyecto curricular por competencias". *Tecné, episteme y didaxis: revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología*, (10), 113-129, doi: 10.17227/ted.num10-5617

Esteban-Muñoz, J. A. y Gómez-Aguilar, D. L. (2021). REVISIÓN DEL USO DEL MÉTODO POGIL PARA LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA EN EDUCACIÓN SUPERIOR. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (Número Extraordinario), 763-774. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/15189>

Esteban-Muñoz, J. A., Chembi-Vergara, A. N. & Parga-Lozano., D. L. (2021). HABILIDADES DE PENSAMIENTO CRÍTICO Y MODELOS EN LOS TPL PARA LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA EN EDUCACIÓN MEDIA: UNA REVISIÓN. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (Número Extraordinario), 3059-3071. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/15437>

Esteban-Muñoz, J. Gómez-Aguilar, D., Riveros-Toro, C. (2020). Propuestas didácticas para la enseñanza de la espectrofotometría de absorción atómica (EAA): Una revisión documental de 2000-2019. En *Memorias I Simposio Internacional sobre Investigación en la enseñanza de las ciencias* (pp. 457-469). Fondo Editorial - Universidad de Córdoba Imprenta y Publicaciones Montería.

<https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/3804/1%20Simposio%20Internacional%20sobre%20Investigación%20en%20la%20enseñanza%20de%20las%20ciencias.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

EuroLab España [P.P. Morillas y colaboradores] (2016). *Guía Eurachem: La adecuación al uso de los métodos analíticos – Una Guía de laboratorio para la validación de métodos y temas relacionados* (1ª ed.). EuroLab España. www.eurachem.org

Fahey, A., & Tyson, J. (2006). Instrumental Analysis in the Undergraduate Curriculum. *Analytical Chemistry*, 78(13), 4249–4254. doi:10.1021/ac069421a

Farrell, J. J., Moog, R. S., & Spencer, J. N. (1999). A Guided-Inquiry General Chemistry Course. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 570. doi:10.1021/ed076p570

Fathima, N. N., Aravindhan, R., Rao, J. R., & Nair, B. U. (2005). Solid Waste Removes Toxic Liquid Waste: Adsorption of Chromium(VI) by Iron Complexed Protein Waste. *Environmental Science & Technology*, 39(8), 2804–2810. doi:10.1021/es0499389

Finch, L. E., Hillyer, M. M., & Leopold, M. C. (2015). Quantitative Analysis of Heavy Metals in Children's Toys and Jewelry: A Multi-Instrument, Multitechnique Exercise in Analytical Chemistry and Public Health. *Journal of Chemical Education*, 92(5), 849–854. doi:10.1021/ed500647w

Franco, R., Gallego, R. y Royman, P. (2015). La dimensión investigativa en la formación inicial de profesores de química de la universidad pedagógica nacional, *Revista Científica*, 22, 129-136, doi: 10.14483/udistrital.jour.RC.2015.22.a10

García, O., Ramírez, L. (2019). *Evaluación de una propuesta para el sistema de tratamiento de aguas residuales de curtiembre y marroquinería F.B.* [Trabajo de Pregrado, Fundación Universidad de América].

Garoutte, M. P. (2008). POGIL in the General, Organic, and Biological Chemistry Course. *Process Oriented Guided Inquiry Learning (POGIL)*, 122–132. doi:10.1021/bk-2008-0994.ch011

Garrison, N., Cunningham, M., Varys, D., & Schauer, D. J. (2013). Discovering New Biosorbents with Atomic Absorption Spectroscopy: An Undergraduate Laboratory Experiment. *Journal of Chemical Education*, 91(4), 583–585. doi:10.1021/ed4004029

Gil Pérez, D. (1991) ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias? *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 9(1), 69-77, doi: <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/51357>

Gobierno de la Republica de Colombia (2019). *Estrategia Nacional de Economía Circular. Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio.* Bogotá D.C., Colombia. Presidencia de la República; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. http://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia%20Nacional%20de%20EconA%CC%83%C2%B3mia%20Circular-2019%20Final.pdf_637176135049017259.pdf

Gómez, D. (2019). *Bioadsorción de Mn (II), Zn (II), Pb (II), Cr (III) y (VI) con Residuos Lignocelulósicos en Aguas Residuales. Una aplicación en Curtiembres* [Tesis de Doctorado, Universidad de Manizales]. <https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/4193/Tesis%20Doctoral.pdf?sequence=1>

González-Sánchez, E., Acebal Expósito, M. del C., & Brero Battista, V. (2015). Metodologías áulicas innovadoras en ciencias para promover actitudes y valores. Segunda etapa. *Opción*, 31(1). <https://produccioncientificaluz.org/index.php/opcion/article/view/20570>

Haile-Tesema, B. (2018). *TANNERY SOLID WASTE GENERATION RATE AND PREPARATION OF LEATHER BOARD FROM CHROME SHAVING WASTE AND PLANT FIBERS“ A WEALTH FROM WASTE APPROACH”* [Tesis de Maestría, ADDIS ABABA UNIVERSITY].

Hamilton, L. F., Simpson, S. G., & Elis, D. (1992). *Cálculos en Química Analítica* (Séptima ed.). McGraw-Hill Book Co, U.S.A.

Hanson, D. M. (2008). A Cognitive Model for Learning Chemistry and Solving Problems: Implications for Curriculum Design and Classroom Instruction. *Process Oriented Guided Inquiry Learning (POGIL)*, 14–25. doi:10.1021/bk-2008-0994.ch002

Hanson, D. M. (2013). *Instructor's Guide to Process Oriented Guided Inquiry Learning*. Pacific Crest.

Harris, D. (2010). *Quantitative Chemical Analysis* (8.a ed., pp. 493–494). W. H. Freeman and Company.

Hein, S. M. (2012). Positive Impacts Using POGIL in Organic Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 89(7), 860–864. doi:10.1021/ed100217v

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a. ed.). México D.F.: McGraw-Hill

Hyoung-Uk, K., Keun-Han, K., Yoon-Young, C., Seung-Mok, L. y Jae-Kyu, Y. (2012) Heavy metal removal from aqueous solution by tannins immobilized on collagen, *Desalination and Water Treatment*, 48(1-3), 1-8. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19443994.2012.698517>

Ibáñez, S. y Martínez, C. (2017). ¿QUÉ CONOCIMIENTOS PROFESIONALES DEL PROFESOR SE FAVORECEN EN LA FORMACIÓN INICIAL DE LOS PROFESORES DE QUÍMICA EN EL CONTEXTO DE LAS PRÁCTICAS PEDAGÓGICAS?: APORTES DE

PROFESORES TITULARES: Congreso internacional sobre investigación en didáctica de las ciencias, N° extraordinario de la Universidad de Sevilla, 2695 – 2699.

Jiménez, M. (2019). *Habilidades de Pensamiento Científico en Estudiantes de Educación Media: Una Estrategia tipo ABP para la Enseñanza de Reacción Química* [Tesis de Maestría, Universidad Pedagógica Nacional].

Jiménez, Y., Hernández, J., González, M. (2013). Competencias profesionales en la educación superior: justificación, evaluación y análisis. *Innovación Educativa*, 13(61), 45-64.

Johnstone, A. H. (1997). Chemistry Teaching - Science or Alchemy? *Journal of Chemical Education*, 74(3), 262-268. doi:10.1021/ed074p262

Johnstone, A. H., Sleeter, R. J., & Vianna, J. F. (1994). An information processing model of learning: Its application to an undergraduate laboratory course in chemistry. *Studies in Higher Education*, 19(1), 77–87. doi:10.1080/03075079412331382163

Jurado (2008). *Aplicación de Microsoft Excel a la Química Analítica: validación de métodos analíticos*. <https://personal.us.es/jmjurado/docs/AQAEXCEL.pdf>

Kantarli, I. C., & Yanik, J. (2010). Activated carbon from leather shaving wastes and its application in removal of toxic materials. *Journal of Hazardous Materials*, 179(1-3), 348–356. doi:10.1016/j.jhazmat.2010.03.012

Karplus, R., & Butts, D. P. (1977). Science teaching and the development of reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 14(2), 169–175. doi:10.1002/tea.3660140212

Kościelniak, P., Wieczorek, M. (2016). Univariate analytical calibration methods and procedures. A review, *Analytica Chimica Acta*, 944, 14-28, doi: 10.1016/j.aca.2016.09.024.

Lamba, R. S. (2008). Information Overload, Rote Memory, and Recipe Following in Chemistry. *Process Oriented Guided Inquiry Learning (POGIL)*, 26–39. doi:10.1021/bk-2008-0994.ch003

Lantz, J., & Cole, R. (2014). *Analytical Chemistry: A Guided Inquiry Approach Instrumental Analysis Collection*. ANAPOGIL Project.

Leyva-Ramos, F. (2007). Importancia y Aplicaciones de la Adsorción en Fase Líquida. En J. C. Moreno-Piraján (Ed.), *Sólidos porosos: Preparación, Caracterización y Aplicaciones* (1.a ed., pp. 155–211). Universidad de los Andes.

Likmyeleh-Deriso, T. (2014). TREATMENT OF CHROMIUM-RICH TANNERY SOLID WASTES WITH HYDRATED LIME POWDER: THE CASE OF AWASH TANNERY ADDIS ABABA, ETHIOPIA [Tesis de Maestría, Addis Ababa University].

Lo, S. M., & Méndez, J. I. (2019). Learning-The Evidence. En S. R. Simonson (Ed.), *POGIL: An Introduction to Process Oriented Guided Inquiry Learning for Those Who Wish to Empower Learners* (1.a ed., pp. 1–4). Stylus Publishing, LLC. <https://n9.cl/rb5ft>

López-Bernabéu, S., Molina-Jaldo, E. V., Sancho-García, J. C., Berenguer-Betrián, R., & Montilla-Jiménez, F. (2018). Implementación y evaluación del método POGIL en la facultad de Ciencias. En R. Roig-Vila, J. M. Antoli-Martínez, A. Lledó-Carreres, & N. Pellín-Buades (Eds.), *Memorias de las redes de investigación en docencia universitaria que pertenece al Programa Redes -I3CE de investigación en docencia universitaria del curso 2017–18*. (1. Ed., pp. 1745–1761). Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) de la Universidad de Alicante.

Louarrat, M., Ntieche, A., Bacaoui, A., Yaacoubi, A. (2017). Removal of Chromium Cr(VI) of Tanning Effluent with Activated Carbon from Tannery Solid Wastes. *American Journal of Physical Chemistry*. 6(6), 103-109. doi: 10.11648/j.ajpc.20170606.11

Malek, A., Hachemi, M., & Didier, V. (2009). New approach of depollution of solid chromium leather waste by the use of organic chelates. *Journal of Hazardous Materials*, 170(1), 156–162. doi:10.1016/j.jhazmat.2009.04.118

Manjón-Marín, M. D. (2017). *¿Qué demandan las empresas de un graduado en Química? Estudio de ofertas y oportunidades* [Trabajo de Pregrado, Universidad de Jaén]. tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/6633/1/TFG_Majon_Marin_M_Dolores.pdf

Martin, F., Stamper, B., & Flowers, C. (2020). Examining student perception of their readiness for online learning: Importance and confidence. *Online Learning*, 24(2), 38-58. <https://doi.org/10.24059/olj.v24i2.2053>

Matus-Betancourt, O. (2017). *Relación entre elaboración de infografías, desempeño académico y perfil vark en estudiantes de odontología de una Universidad Tradicional Chilena* [Tesis de Maestría, Universidad de Concepción] repositorio.udec.cl/bitstream/11594/2836/3/Tesis_Relacion_entre_elaboracion_de_infografias.pdf

Mella, B., Benvenuti, J., Oliveira, R. F., & Gutterres, M. (2019). Preparation and characterization of activated carbon produced from tannery solid waste applied for tannery wastewater treatment. *Environmental Science and Pollution Research*. doi:10.1007/s11356-019-04161-x

Mesías, A. (2019). *Estudio de diferentes variables para una óptima adsorción de ácido benzoico* [Trabajo de Pregrado, Universidad Da Coruña].

Milena, E. (2020). *Usos y aplicaciones de los subproductos de la industria de cuero* [Monografía de Especialización, Universidad Nacional Abierta y a Distancia].

Miller, J. N., y Miller, J. C. (2010). *Statistics and Chemometrics for Analytical Chemistry* (6.a ed.). Pearson Education.

Monllor-Satoca, D., Lana-Villarreal, T., Bonete Ferrández, P., Gómez-Torregrosa, R. (2013). A "Know-How vs. Know-What" Approach in the Teaching-Learning of Competences in Physical Chemistry. <https://web.ua.es/es/ice/jornadas-redes/documentos/2013-posters/334641.pdf>

Moog, R.S., & Spencer, J.N. (Eds.). (2008). *Process-Oriented Guided Inquiry Learning*: ACS Symposium Series 994. Washington, D.C.: American Chemical Society

Moog, R.S., Creegan, F.J., Hanson, D.M., Spencer, J.N., & Straumanis, A.R. (2006). Process-Oriented Guided Inquiry Learning: POGIL and the POGIL Project. *Metropolitan Universities Journal*, 17, 41-51

Moquete De La Rosa, J. (2012). *Introducción a la Educación* (13.a ed.). Instituto Superior de Formación Docente Salomé Ureña.

Morsy, M., Nasr, A. (2018). Engineering Properties of Gypsum Composite Containing Chrome Tanned Leather Shaving Waste, *MISR Journal of Agricultural Engineering*, 35(4), 1441-1456. https://mjae.journals.ekb.eg/article_95342_4edbc1044bc6d9bc6ae9e3bff217046.pdf

Nicácio, J., Pereira, P., Batista, D., Gomez, J., José-da Silva, J., Nascentes, C., Teixeira, V., Borba, J. (2007). Determination of As, Bi, Cd, Co, Cr, Ga, In, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Te, Tl, and V in Antihypertensive Drugs by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. *Atomic Spectroscopy*, 28(1), 1-10. www.at-spectrosc.com/uploadfile/cover/as/2007_1_contents.pdf

Nishad-Fathima, N., Raghava-Rao, J., & Unni-Nair, B. (2014). Effective Utilization of Solid Waste from Leather Industry. *The Role of Colloidal Systems in Environmental Protection*, 593–613. doi:10.1016/b978-0-444-63283-8.00023-5

Oliveira, D. Q. L., Gonçalves, M., Oliveira, L. C. A., & Guilherme, L. R. G. (2008). Removal of As(V) and Cr(VI) from aqueous solutions using solid waste from leather industry. *Journal of Hazardous Materials*, 151(1), 280–284. doi:10.1016/j.jhazmat.2007.11.001

Onenc, S., Kilincli, O., Kantarli, I., Yilmaz, O., Yanik, J. (2011). Use of Solid Wastes from the Leather Industry as an Adsorbent. *Journal of residuesals Science & Technology*, 8(3), 131-140.

Organización Mundial de la Salud [OMS] (2011). *ADVERSE HEALTH EFFECTS OF HEAVY METALS IN CHILDREN*. https://www.who.int/ceh/capacity/heavy_metals.pdf?ua=1

Oros, J. L. (2007). *Flash 8: Basic y Profesional*. Alfaomega. México.

- Owczarzy, A., Kurasiński, R., Kulig, K., Rogóż, W., Szkudlarek, A., Maciążek-Jurczyk, M. (2020). Collagen –structure, properties and application-. *Engineering of Biomaterials*, 156, 17-23, doi:10.34821/eng.biomat.156.2020.17-23
- Ozgunay, H., Colak, S., Mutlu, M., Akyuz, F. (2007). Characterization of Leather Industry Wastes. *Polish Journal of Environmental Studies*, 16(6), 867-873.
- PAC (2021). *POGIL Activity Clearinghouse. Share ideas. Find Collaborators. Give Feedback. Test Activities.* <http://pac.chem.pitt.edu/index.php/pac>
- Parisi, M., Nanni, A., & Colonna, M. (2021). Recycling of Chrome-Tanned Leather and Its Utilization as Polymeric Materials and in Polymer-Based Composites: A Review. *Polymers*, 13(3), 429. <https://doi.org/10.3390/polym13030429>
- Pereira, L. F; Barroso, M. T; Oliveira, F. J. V. E. (2021). A metodologia ativa POGIL para a com-preensão conceitual do equilíbrio químico no ensino médio. *Góndola, enseñanza y aprendizaje de las ciencias*, 16(2), 294-311. <https://doi.org/10.14483/23464712.16246>
- Perkin-Elmer Corporation (1996). *Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy*. United States of America.
- Phiri, S. (2017). *Comparative study of the matrix matching method and standard addition method in the determination of selected trace impurities in electrolytic nickel cathodes* [Tesis de Pregrado, Bindura University of Science Education].
- Piccin, J. S., Gomes, C. S., Feris, L. A., & Gutierrez, M. (2012). Kinetics and isotherms of leather dye adsorption by tannery solid waste. *Chemical Engineering Journal*, 183, 30–38. doi:10.1016/j.cej.2011.12.013
- POGIL (2021a). *Home: POGIL* <https://pogil.org/>
- POGIL (2021b). *Operationalized POGIL Process Skill Definitions.* <https://pogil.org/uploads/attachments/cj54b5yts006cklx4hh758htf-process-skills-official-pogil-list-2015-original.pdf>
- Ramette, R. W. (1984). *Equilibrio y Análisis Químico*. Fondo Educativo Interamericano S.A.
- Ramirez, J. (2014). *Evaluación de la Gestión Integral de Residuos Sólidos en las Curtiembres de San Benito* [Trabajo de Especialización, Universidad Militar Nueva Granada]. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/12026/curtiembres%20TRABAJO%20FINANCIAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramos-Bonilla, A. (2015). *Diseño de un Filtro en Base al Rebajado del Wet Blue (cuero curtido) para la Remoción de Contaminantes Provenientes de los Efluentes de la Curtiembre Cetecuero* [Trabajo de Pregrado, Universidad de las Américas Ecuador]. <https://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/4425/1/UDLA-EC-TIAM-2015-11.pdf>
- Razmilic, B. (2021). *Espectroscopia de Absorción Atómica.* <https://www.fao.org/3/ab482s/AB482S04.htm#ch4>
- Reynders, G., Lantz, J., Ruder, S. M., Stanford, C. L., & Cole, R. S. (2020). Rubrics to assess critical thinking and information processing in undergraduate STEM courses. *International Journal of STEM Education*, 7(9), 1-15. doi:10.1186/s40594-020-00208-5
- Reynders, G., Suh, E., Cole, R. S., & Sansom, R. L. (2019). Developing Student Process Skills in a General Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 96(10), 2109-2119. doi:10.1021/acs.jchemed.9b00441
- Rigueto, C. V. T., Rosseto, M., Krein, D. D. C., Ostwald, B. E. P., Massuda, L. A., Zanella, B. B., & Dettmer, A. (2020). Alternative uses for tannery wastes: a review of environmental, sustainability, and science. *Journal of Leather Science and Engineering*, 2(21). doi:10.1186/s42825-020-00034-z
- Rocha, Adriana, & Bertelle, Adriana, & Iturralde, Cristina, & García de Cajén, Silvia, & Roa, Magdalena, & Fuhr Stoessel, Ana, & Boucíguez, María José (2013). Formación de Profesor de Química en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista*

Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 10, 836-845, doi: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=920/92028937023>

Rodriguez, J. M. G., Hunter, K. H., Scharlott, L. J., & Becker, N. M. (2020). A Review of Research on Process Oriented Guided Inquiry Learning: Implications for Research and Practice. *Journal of Chemical Education*. doi:10.1021/acs.jchemed.0c00355

Rodríguez, R. (2014). Aprovechamiento integral de los residuos sólidos de curtición. Implicaciones medioambientales [Tesis de Doctorado, Universidad de Oviedo].

Rodríguez-Hernández, B. (2017). *Conocimiento profesional del profesor de ciencias al abordar cuestiones sociocientíficas: Un estudio de caso de un grupo de investigación en la interacción Universidad-Escuela* [Tesis de Doctorado, Universidad Pedagógica Nacional]. <http://repository.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/9303>

Rodríguez-Reinoso, F. (2007). El carbón activado como adsorbente universal. En J. C. Moreno-Piraján (Ed.), *Sólidos porosos: Preparación, Caracterización y Aplicaciones* (1.a ed., pp. 1–43). Universidad de los Andes.

Rubinson, K. A., & Rubinson, J. F. (2001). *Análisis instrumental* (1.a ed.). Pearson Education S.A.

Sahoo, T. R., & Prelot, B. (2020). Adsorption processes for the removal of contaminants from wastewater. *Nanomaterials for the Detection and Removal of Wastewater Pollutants*, 161–222. doi:10.1016/b978-0-12-818489-9.00007-4

Saravanabhavan, S., Sreeram, K., Rao, J. (2004). The three-pot solution for chromium, tannins and solid wastes: Recovery and reuse technique for spent semi-chrome liquor and chrome shavings. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*, 88(5), 202-207.

Schmidt-McCormack, J. (2017). *Assessing student process skills and providing feedback to enhance learning in analytical chemistry* [Tesis de Doctorado, University of Iowa]. <https://doi.org/10.17077/etd.np72nh1u>

Schmidt-McCormack, J. A., Fish, C., Falke, A., Lantz, J., & Cole, R. S. (2019). Assessment of Process Skills in Analytical Chemistry Student Responses to Open-Ended Exam Questions. *Journal of Chemical Education*. doi:10.1021/acs.jchemed.8b00877

Scott, D., & Hilt, C. (2019). Comparing Spectroscopic Techniques, Instruments, and Sample Analysis in a Guided Inquiry Lab to Promote Students' Critical Thinking and Problem-Solving Abilities. *Journal of Chemical Education*, 96(11), 2590-2596, doi:10.1021/acs.jchemed.9b00046

Shakilanishi, S., Chandra Babu, N. K., Shanthi, C. (2017). Exploration of chrome shaving hydrolysate as substrate for production of dehairing protease by *Bacillus cereus* VITSN04 for use in cleaner leather production. *Journal of Cleaner Production*, 149, 797–804. doi:10.1016/j.jclepro.2017.02.139

Simonson, S. R. (Ed.). (2019). *POGIL: An Introduction to Process Oriented Guided Inquiry Learning for Those Who Wish to Empower Learners* (1.a ed.). Stylus Publishing, LLC. <https://n9.cl/rb5ft>

Skoog, D. A., West, D. A., Holler, J., & Crouch, S. R. (2015). *Fundamentos de Química Analítica* (9.a ed.). Cengage Learning.

Soriano, A. M. (2014). Diseño y validación de instrumentos de medición. *Diá-logos*, 14, 19-40. <https://n9.cl/gz1rs>

Straumanis, A., & Simons, E. A. (2008). A Multi-Institutional Assessment of the Use of POGIL in Organic Chemistry. *Process Oriented Guided Inquiry Learning (POGIL)*, 226–239. doi:10.1021/bk-2008-0994.ch019

Sun, X., Peng, Q., Wang, Z., Li, C., & Huang, Y. (2021). N-doped porous carbon derived from Cr-tanned leather shaving wastes for synergetic adsorption of Cr(VI) from aqueous solution. *Materials Letters*, 284, 1-4. doi:10.1016/j.matlet.2020.128815

- Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, A., Gárce-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, 18(34) 109-123.
- Toro, W. X. (2019). *21st Century Learning Skills in Education and Employability* [Tesis de Doctorado, The School of Education St. John's University]. https://scholar.stjohns.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1108&context=theses_dissertations
- Universidad Pedagógica Nacional [UPN] (2020). *Plan curricular de la Licenciatura en Química*. <http://cienciaytecnologia.pedagogica.edu.co/vercontenido.php?idp=373&idh=376&idn=10777>
- Van-Eck, N., Waltman, L. (2022). *VOSviewer manual*. Universiteit Leiden.
- Vincent-Ruz, P., Meyer, T., Roe, S. G., & Schunn, C. D. (2020). Short-Term and Long-Term Effects of POGIL in a Large-Enrollment General Chemistry Course. *Journal of Chemical Education*, 97(5), 1228–1238. doi:10.1021/acs.jchemed.9b01052
- Vishnumolakala, V. R. (2013). *An Exploration of Process Oriented Guided Inquiry Learning in Undergraduate Chemistry Classes* [Tesis de Doctorado, Curtin University].
- Wang, J., Chen, C. (2009). Biosorbents for heavy metals removal and their future. *Biotechnology Advances*, 27, 195-226, doi:10.1016/j.biotechadv.2008.11.002
- Washington University in St. Louis Center For Teaching and Learning [CTL-WUSTL] (2020a). *POGIL role cards traditional: Manager or Facilitator, Speaker or Presenter, Reflector or Strategy Analyst, Recorder*. <http://ctl.wustl.edu/wp-content/uploads/2020/09/POGIL-role-cards-traditional.pdf>
- Washington University in St. Louis Center For Teaching and Learning [CTL-WUSTL] (2020b). *Using Roles in Group Work: How using roles can improve group work in your class*. <https://ctl.wustl.edu/resources/using-roles-in-group-work/>
- White, J., Costilow, K., Dotson, J., Mauldin, R., Schanandore, M., & Shockley, D. (2020). Guided-Inquiry Experiment for Teaching the Calibration Method of Standard Addition in the Analysis of Lead with Graphite Furnace Atomic Absorption Spectroscopy. *Journal of Chemical Education*, 98(2), 620-625. doi:10.1021/acs.jchemed.0c00433
- Williams-Johnson, L. (2016). *Preventive Health Education Media and Older Worker Health Literacy* [Tesis de Doctorado, Walden University]. <https://scholarworks.waldenu.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=3491&context=dissertations>
- Xu, W. y Hao, L. (2011a). The feasibility of chrome shaving to remove Cr (III) from aqueous solutions. *2011 International Symposium on Water Resource and Environmental Protection*, 1624-1627. doi:10.1109/iswrep.2011.5893349
- Xu, W. y Hao, L. (2011b). Detoxification of chrome shaving and its use as an adsorbent of Cr (III) from aqueous solutions. *2011 International Symposium on Water Resource and Environmental Protection*, 1628-1631. doi:10.1109/iswrep.2011.5893350
- Yan, G. Wei, H. (2021). Analysis of the Application of Virtual Simulation Software in Food Testing Technology Course with Atomic Absorption Spectrum-Taking the Example of Determining Calcium in Drinking Water by Atomic Absorption Spectrometry. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 680, 1-6. doi:10.1088/1755-1315/680/1/012085
- Yorgancioglu, A., Başaran, B., & Sancakli, A. (2020). Value Addition to Leather Industry Wastes and By-Products: Hydrolyzed Collagen and Collagen Peptides. En A. Körlü (Ed.), *Waste in Textile and Leather Sectors*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92699>

Anexos.

Anexo 1. Prueba para evaluar tanto los conocimientos alrededor de los métodos de calibración instrumental en EAA-llama como de la habilidad *Procesamiento de la Información* (antes y después de la implementación de la propuesta de enseñanza).

Consentimiento informado para los participantes de la investigación

Agradecemos su amable colaboración y participación durante el desarrollo de este trabajo investigativo. Dada la situación actual de pandemia ocasionada por la COVID-19, en el marco de este proyecto –realizado en la modalidad de profundización durante la formación de la Maestría en Docencia de la Química-UPN– se buscará recolectar, a través de encuentros virtuales sincrónicos, una serie de información que involucra grabaciones de las sesiones, desarrollo de actividades individuales y en equipos de trabajos y fotos. Su tratamiento posterior no se utilizará para propósitos fuera de los objetivos investigativos del proyecto.

El tratamiento de los datos e información suministrada se codificará, para conservar el anonimato.

Antes de continuar, solicito por favor que diligencie la siguiente información.

Yo _____ identificado con código estudiantil _____ estudiante activo de la Licenciatura en Química de la Universidad Pedagógica Nacional he leído el consentimiento anterior y he sido informado(a) acerca del propósito de la intervención que se realizará en el espacio académico, así como de las actividades que llevaré a cabo y en las que participaré individual o grupalmente. Dado esto, autorizo que la información que se recolecté en el marco de la investigación sea utilizada y tratada según los propósitos planteados por el investigador.

Prueba de conocimientos

Nombre: _____
Código estudiantil: _____. Fecha: _____. Semestre académico: _____.
Espacio académico: _____.

Hora de inicio:

Hora de finalización:

Lea detenidamente cada una de las preguntas que se presentan a continuación. Seleccione la opción que considere o escriba su respuesta, según corresponda.

Lo convocaron a usted para suplir una vacante de analista fisicoquímico en el laboratorio ambiental de cierta Institución. Para ello, el entrevistador le solicitó diligenciar el siguiente cuestionario con el fin de analizar sus conocimientos y una habilidad de proceso en cuanto a la tarea que debe desempeñar.

La Institución recibe, frecuentemente, muestras de aguas residuales cuyo análisis principal es la cuantificación de metales pesados. Para ello, el laboratorio cuenta con el espectrofotómetro de absorción atómica con atomización de llama marca Perkin Elmer. Una de las tareas principales es la determinación de cromo (Cr) en el monitoreo de un proceso de remoción que está aplicando una empresa desde el uso de una tecnología limpia.

En el cuestionario se anexo la Figura 1, donde se muestran las condiciones estándar de absorción atómica para Cr expuestas en el manual de la casa matriz Perkin Elmer:

Cr (24)					
Standard Atomic Absorption Conditions for Cr					
Wavelength	Slit	Relative Noise	Characteristic Concentration	Characteristic Concentration Check	Linear Range
(nm)	(nm)		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
357.9	0.7	1.0	0.078	4.0	5.0
359.4	0.7	1.2	0.10	5.0	7.0
360.5	0.7	7.7	0.14	7.0	7.0
425.4	0.7	8.8	0.20	12.0	7.0
427.5	0.7	10.0	0.27	15.0	7.0
429.0	0.7	6.9	0.38	20.0	5.0
1. Recommended Flame: air-acetylene, reducing (rich, yellow) 2. Data obtained with a standard nebulizer and flow spoiler. Operation with a High Sensitivity nebulizer or impact bead will typically provide a 2-3 x sensitivity improvement. 3. Characteristic Concentration with a $N_2O-C_2H_2$ flame at 357.9 nm: 0.31 mg/L.					
Stock Standard Solution		CHROMIUM 1 mg/L. Dissolve 0.2 g of potassium chromate, K_2CrO_4 , in deionized water and dilute to 100 mL with deionized water.			
Flames		The determination of chromium requires a fuel-rich (yellow) air-acetylene flame. The absorption is sensitive to the fuel-to-air ratio. The nitrous oxide-acetylene flame reduces or eliminates many chemical interferences, but sensitivity is reduced.			
Interferences		Chromium absorption is suppressed in the air-acetylene flame by the presence of iron and nickel. If the analysis is performed in a lean flame, the interference can be lessened but the sensitivity will be reduced. The addition of 2% ammonium chloride (NH_4Cl) to sample and standard solutions controls the interference caused by iron. An excess of phosphate will depress the chromium response and can be overcome by the addition of calcium. Cr (VI) and Cr (III) exhibit different sensitivities. It is recommended that if Cr (III) is present, it be oxidized to give Cr (VI).			

Figura 1. Condiciones estándar de absorción atómica para Cr.

Fuente: Perkin Elmer Corporation (1996).

1. Junto con la información expuesta en la Figura 1 y apoyándose en la mayor cantidad de palabras que se ilustran a continuación y que considere necesarias, defina con sus propias palabras, en dos o tres oraciones lo siguiente:

Adición de patrón interno.	Estándares o patrones.	Curva de calibración.	Criterio de selección.
Coefficiente de determinación.	Coefficiente de variación.	Disolución spiked o matriz de "muestra".	Patrones spiked o fortificados.
Interferencias analíticas.	Calibración instrumental.	Método.	Reportes de literatura primaria o secundaria.
Método estándar.	Tradicional.	Igualación.	Matriz analítica.
Señal analítica.	Concentraciones.	Matriz analítica compleja y variable.	Absorbancia.

- 1.1. Metodología estándar refiere a:

- 1.2. La equiparación de matriz refiere a:

- 1.3. Si selecciono algunas de las palabras anteriores, justifique su elección.

- 1.4. Según sus definiciones, la metodología estándar se diferencia de la equiparación de matriz por:

2. De acuerdo a la Figura 1 y las sugerencias brindadas por la casa Perkin Elmer es conveniente tomar la primera longitud de onda analítica para el análisis; luego, se debe tomar _____(a)_____ como parámetro de referencia para los cálculos en la elaboración de los estándares de trabajo; dado que____(b)_____. Seleccione una opción y justifique su elección.

- A. (a) La characteristic concentration check – (b) es la concentración del estándar más concentrado del ion metálico que produce una señal analítica de 0,200 unidades de absorbancia.
- B. (a) La characteristic concentration– (b) es la concentración del estándar más concentrado del ion metálico que produce una señal analítica de 0,200 unidades de absorbancia.
- C. (a) La characteristic concentration check, también llamada “sensibilidad” – (b) es la concentración del estándar más concentrado del ion metálico que produce una señal analítica de 0,0044 unidades de absorbancia.
- D. (a) La characteristic concentration, también llamada “sensibilidad” – (b) es la concentración del estándar más concentrado del ion metálico que produce una señal analítica de 0,0044 unidades de absorbancia.
- E. Otra condición estándar de absorción atómica, ¿cuál?, ¿por qué?

3. En el análisis de algunos de los metales que se pueden cuantificar por espectrofotometría de absorción atómica con atomización de llama, pueden presentarse *interferencias analíticas*; estas, se clasifican en tres grandes grupos: químicas, físicas y espectrales. Relacione las características expuestas a continuación con el tipo de interferencia analítica; adicionalmente, justifique la clasificación realizada.

Interferencias químicas	Interferencias físicas	Interferencias espectrales
Justificación:	Justificación:	Justificación:

Características		
Propiedades físicas de la matriz.	Absorción de fondo.	Fuente continua deuterio o wolframio.
Líneas de resonancia o longitudes de onda alternas.	Bandas anchas de absorción.	Longitud de onda cercana imposible de separar por el monocromador.

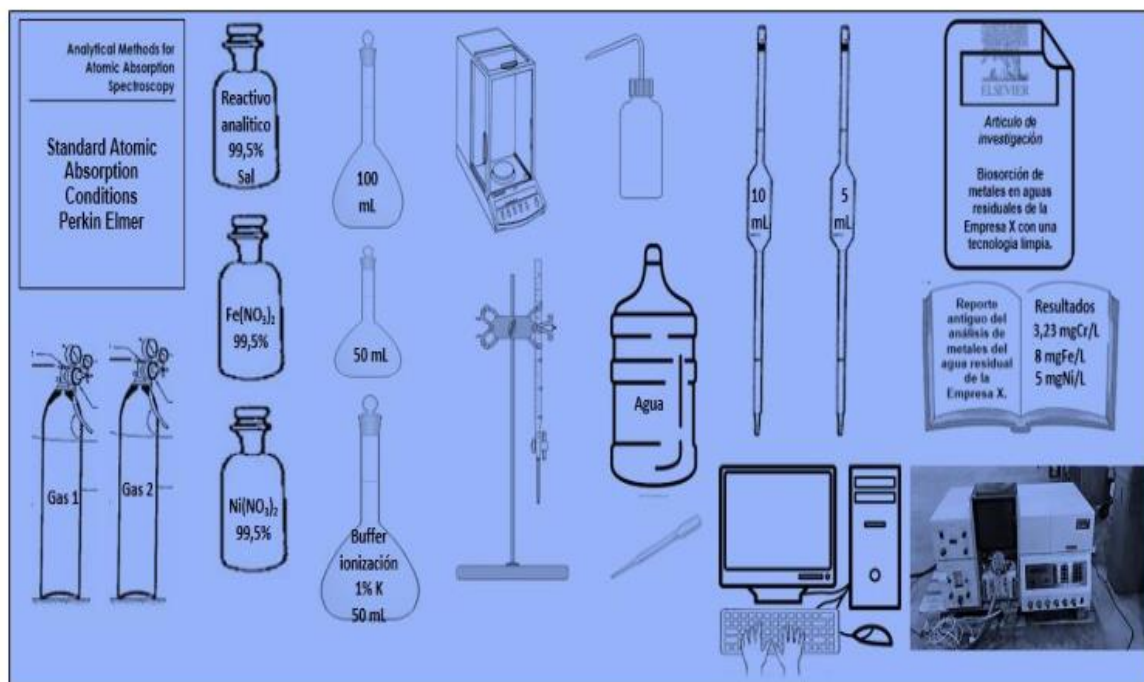
Agentes complejantes.	Absorción a la misma longitud de onda analítica del mensurando.	Supresores de ionización.
Llamas más calientes.	Viscosidad.	Densidad.
Tensión superficial.	Equiparación de matriz.	Adición estándar.
Soluciones más diluidas.	Elementos fácilmente ionizables.	Elementos alcalinos/alcalinotérreos.
Sustancias en la matriz o formadas en la llama.	Aspiración, nebulización, formación de átomos.	Sustancias químicas refractarias.
Iones espectadores.	Agentes liberadores.	Interferencia de ionización.

3.1. Según las respuestas anteriores y la Figura 1, ¿Cuáles interferencias en el análisis de cromo se pueden presentar?, ¿a qué tipo corresponden?, ¿cómo podrían reducirlas o eliminarlas?

3.2. Según las respuestas anteriores y la Figura 1, ¿cuándo debe utilizarse la equiparación de matriz?

4. Teniendo presente el material y reactivos analíticos que se muestran a continuación, así como la información de la Figura 1, describa brevemente como realizaría la metodología estándar y de equiparación de matriz para la cuantificación de Cr.

Si lo desea puede incluir materiales o reactivos adicionales a los planteados, así como expresiones o fórmulas matemáticas que considere necesarias.



5. Se obtuvieron los siguientes datos de la calibración instrumental empleando el método estándar y equiparación de matriz en el análisis de Cr.

Tabla 1. Concentraciones, medidas de absorbancia, ecuaciones de la recta, R^2 y S_a para el método estándar y equiparación de matriz.

Concentración de Cr (mg/L)	Valores de absorbancia obtenidos por el método estándar	Valores de absorbancia obtenidos por el método equiparación de matriz
1,0	0,055	0,093
2,0	0,087	0,133
3,0	0,117	0,160
5,0	0,162	0,220
Muestra de agua residual (se aplicó un factor de dilución:1/2)	0,086	0,087
Ecuación de la recta	$Y = 0,0265X + 0,0323$	$Y = 0,0311X + 0,0659$
R^2	0,9916	0,9950
S_a	0,00539	0,00487

- 5.1. Relacione la letra de los parámetros mencionados a continuación con su definición; adicionalmente, justifique la asignación realizada.

Parámetro.	Definición.	Justifique la asignación realizada.
A. Límite de detección (LOD).	Intervalo de concentraciones donde se presenta una relación proporcional lineal entre la concentración y la señal analítica.	
B. Límite de cuantificación (LOQ).	Intervalo de concentraciones donde se presenta una relación proporcional lineal desde el patrón de concentración más alta y la mínima cantidad o concentración detectable.	
C. Sensibilidad analítica.	Concentración o cantidad del analito que se deriva de la menor señal analítica, que puede detectarse con una exactitud y precisión baja. Desde una curva de calibración seleccionada se calcula aplicando la expresión tres veces la desviación estándar del intercepto (S_a) sobre el valor de la pendiente (b). <u>Calcule el parámetro y reporte el valor hallado.</u>	

Parámetro.	Definición.	Justifique la asignación realizada.
D. Rango lineal.	Concentración o cantidad del analito que se deriva de la menor señal analítica, que puede detectarse con una exactitud y precisión alta. Desde una curva de calibración seleccionada se calcula aplicando la expresión diez veces la desviación estándar del intercepto (Sa) sobre el valor de la pendiente (b). <u>Calcule el parámetro y reporte el valor hallado.</u>	
E. Rango útil de trabajo.	Es la relación o cociente entre la variación de la señal analítica y la variación de la concentración; se puede determinar desde la pendiente de la ecuación de la recta ajustada a una curva de calibración seleccionada.	

- 5.2. Realice y anexe el (los) gráfico(s) donde represente una curva de calibración según la información de la Tabla 1 del punto 5. Asigne sobre el (los) gráfico(s) elaborado(s), las variables dependiente e independiente, así como cada uno de los parámetros del numeral 5.1., con sus unidades de medida.
- 5.3. Según la(s) gráfica(s) construida(s) en el numeral 5.2., ¿seleccionaría esas curvas de calibración?, ¿cuál criterio tomó en cuenta para su selección? Justifique sus respuestas.
- 5.4. Según la(s) gráfica(s) construida(s) en el numeral 5.2., ¿cuál(es) parámetro(s) del numeral 5.1 permanece(n) igual(es) o cambia(ron) en la metodología estándar y equiparación de matriz? Si cambia(ron), ¿a qué puede atribuirse esto? Justifique sus respuestas.
- 5.5. Calcule la concentración de Cr presente en la muestra de agua residual, según la información de la Tabla 1 y especifique el cálculo realizado; el valor determinado para la metodología estándar y equiparación de matriz, ¿cambió o permaneció igual? Si cambia(ron), ¿a qué puede atribuirse esto? Justifique sus respuestas. Anexe los cálculos realizados.

Anexo 2. Actividad POGIL 1: Calibración instrumental en Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama: método estándar.

Calibración Instrumental en Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama: Método estándar

Instrumental Calibration in Flame Atomic Absorption Spectrophotometry (FAAS): Standard Method

¿A partir de qué información se realiza la metodología estándar para calibrar la técnica analítica instrumental de Espectrofotometría de Absorción Atómica con atomización de llama para analizar metales – con excepción de elementos metálicos de alta volatilidad y que forman óxidos tóxicos a altas temperaturas–?, ¿qué criterio se podría tomar para la selección de una curva de calibración?, ¿cuáles parámetros se podrían extraer de una curva de calibración seleccionada?

¿Porqué? – Why?

Para conocer la concentración de un analito de interés en una matriz analítica determinada, los analistas químicos utilizan equipos instrumentales diseñados, construidos y comercializados para tal fin. Por ejemplo, el análisis de metales presentes en muestras como alimentos, agua, suelo, especies vegetales, medicamentos, productos cosméticos, orina, sangre, cabello entre otros, se realiza generalmente, a través de la Espectrofotometría de Absorción Atómica.

Una de las formas de atomización de la muestra para transformarla en átomos en estado de vapor es el uso de la *llama*. Sin embargo, hay elementos de alta volatilidad o que forman óxidos tóxicos a altas temperaturas como el Hg, As, Se, Cd, Sb, Bi, Ge, Te, Tl, Sn, Pb, Ni, Ga, para los cuales conviene usar el Generador de Hidruros, Homo de Grafito, vapor frío (solo para mercurio) o ICP-MS (Plasma Acopado Inductivamente – Espectrometría de Masas) para realizar el análisis respectivo. Dado esto, una de las metodologías de calibración instrumental es el uso de disoluciones patrón de concentraciones conocidas para la obtención de una curva de calibración que relaciona, en este caso, la absorbancia y la concentración. Esta se conoce como la metodología estándar. Pero, ¿a partir de qué información se realiza tal procedimiento?, ¿cuál criterio se podría tomar para la selección de una curva de calibración?, ¿cómo se determina la cantidad mínima detectable, mínima cantidad cuantificable, sensibilidad analítica e intervalo útil de trabajo a partir de una curva de calibración elegida?

Requisitos previos – Prerequisites

- ❖ Factores de dilución, unidades de concentración ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), preparación de disoluciones.
- ❖ Elaboración de gráficos de dispersión apoyados en la hoja de cálculo de Excel.
- ❖ Concepto de regresión lineal, coeficiente de determinación, calibración instrumental, curva de calibración.

Objetivos de aprendizaje de contenido - Content Learning Objectives

Los estudiantes serán capaces de:

- ❖ Leer e interpretar la información de un método analítico sugerido en un manual de la casa matriz Perkin Elmer para la calibración estándar de la técnica instrumental de Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) de llama para el análisis de metales.
- ❖ Utilizar el coeficiente de correlación como criterio de ajuste lineal y selección de una curva de calibración.

- ❖ Determinar el rango lineal, límite de detección, límite de cuantificación, el intervalo útil de trabajo y la sensibilidad analítica desde una curva de calibración construida y seleccionada.

Objetivos de aprendizaje de proceso - Process Learning Objectives

Los estudiantes serán capaces de:

- ❖ Interpretar información tabulada en métodos analíticos con respecto a las condiciones estándar de absorción atómica para metales sugeridas en el manual de la casa matriz Perkin Elmer (*Procesamiento de la información*).
- ❖ Evaluar la importancia de la información o los datos necesarios para llevar a cabo la metodología de calibración estándar (*Procesamiento de la información*).
- ❖ Construir, seleccionar e interpretar una curva de calibración desde la manipulación y transformación de los datos obtenidos en la metodología de calibración estándar (*Procesamiento de la información*).

Lecturas adicionales - Further Reading

- ❖ Perkin Elmer Corporation. (1996). *Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy*. United States of America.
- ❖ Eurolab España. P.P. Morillas y colaboradores. (2016). *Guía Eurachem: La adecuación al uso de los métodos analíticos – Una Guía de laboratorio para la validación de métodos y temas relacionados* (1ª ed.).

Autor - Author

Javier Andrés Esteban-Muñoz

Nombre del equipo	
Roles del equipo	Nombre del miembro del equipo
 Manager	
 Vocero	
 Analista de calidad	
 Analista de procesos	

Recuerden: si su equipo de trabajo está conformado por tres integrantes, un miembro será el encargado de los roles de manager y analista de procesos.

Modelo 1. Condiciones estándar de absorción atómica para un metal

Hora de inicio:

Hora de finalización:

Un equipo de trabajo que conforma el área de calidad de un laboratorio físico-químico de una Universidad postuló una vacante; en esta, requerían un analista químico, con o sin experiencia, para que realice la cuantificación de cromo total (Cr) en el monitoreo de un proceso de remoción en aguas residuales. Para ello, el laboratorio cuenta con el espectrofotómetro de absorción atómica con atomización de llama marca Perkin Elmer.

Sin embargo, el analista contratado sin experiencia desconoce las condiciones de la metodología expuestas en el manual Perkin Elmer para analizar el metal mencionado con dicho equipo instrumental.

En la revisión del manual, encontró las condiciones estándar de absorción atómica sugeridas para el análisis de Cr, las cuales están expuestas en la Tabla 1:

Modelo 1. Condiciones estándar de absorción atómica para un metal

Hora de inicio:

Hora de finalización:

Un equipo de trabajo que conforma el área de calidad de un laboratorio físico-químico de una Universidad postuló una vacante; en esta, requerían un analista químico, con o sin experiencia, para que realice la cuantificación de cromo total (Cr) en el monitoreo de un proceso de remoción en aguas residuales. Para ello, el laboratorio cuenta con el espectrofotómetro de absorción atómica con atomización de llama marca Perkin Elmer.

Sin embargo, el analista contratado sin experiencia desconoce las condiciones de la metodología expuestas en el manual Perkin Elmer para analizar el metal mencionado con dicho equipo instrumental.

En la revisión del manual, encontró las condiciones estándar de absorción atómica sugeridas para el análisis de Cr, las cuales están expuestas en la Tabla 1:

Tabla 1. Condiciones estándar de absorción atómica para el análisis de Cr total.

Cr (24)					
Standard Atomic Absorption Conditions for Cr					
359.4	0.7	1.2	0.10	5.0	7.0
360.5	0.7	7.7	0.14	7.0	7.0
425.4	0.7	8.8	0.20	12.0	7.0
427.5	0.7	10.0	0.27	15.0	7.0
429.0	0.7	6.9	0.38	20.0	5.0
1. [] [] [] [] [] []					
2. Data obtained with a [] and []. Operation with a High Sensitivity nebulizer or impact bead will typically provide a 2-3 x sensitivity improvement.					
3. Characteristic Concentration with a $N_2O-C_2H_2$ flame at 357.9 nm: 0.31 mg/L.					
[] CHROMIUM, 1000 mg/L. Dissolve 3.735 g of [] and dilute to 1 liter with deionized water.					
[] The determination of chromium requires a []					
[] The absorption is sensitive to the fuel-to-air ratio. The nitrous oxide-acetylene flame reduces or eliminates many chemical interferences, but sensitivity is reduced.					

3

[]

Chromium absorption is suppressed in the air-acetylene flame by the presence of []. If the analysis is performed in a lean flame, the interference can be lessened but the sensitivity will be reduced. The addition of 2% [] to sample and standard solutions controls the interference caused by iron. An excess of phosphate will depress the chromium response and can be overcome by the addition of calcium. Cr (VI) and Cr (III) exhibit different sensitivities. It is recommended that if Cr (III) is present, it be oxidized to give Cr (VI).

Preguntas claves – Key Questions

El analista químico acudió a ustedes para solicitarles su oportuna orientación al respecto. De acuerdo a la revisión del manual Perkin Elmer y el método para el análisis de Cr expuesto allí; como equipo de trabajo:

1. Completen cada uno de los espacios en blanco de la Tabla 1 del Modelo 1.
2. Lean las definiciones de las condiciones estándar de análisis, según las páginas sugeridas del manual expuestas en la Tabla 2. Explíquenle al analista con sus propias palabras, en dos o tres oraciones, las unidades de medida y a que hacen referencia cada una; escriban sus acuerdos en la Tabla.

Tabla 2. Condiciones estándar de análisis.

Páginas del manual sugeridas para leer	Condición estándar	Unidades de medida (las que apliquen)	Definición con sus propias palabras (en 2 o 3 oraciones)
13 - 15	Flames: Air- Acetylene; Nitrous Oxide-Acetylene	No aplica	
	Gas controls	No aplica	
35 - 36	Wavelength		
	Slit		
	Relative noise		
	Characteristic concentration		
	Characteristic concentration check		
	Linear range		

Según las condiciones estándar expuestas en la Tabla 1, junto con las definiciones expresadas por su equipo de trabajo en la Tabla 2, el analista químico les preguntó, ¿por qué hay diversas condiciones estándar en función de varias longitudes de onda, slit, Characteristic Concentration, Characteristic Concentration Check, Linear Range?

3. Como equipo de trabajo discútanlo, redacten y escriban una respuesta frente a la pregunta expresada por el analista. (*Pista: concentraciones e interferencias*).

Consideren esto...

El analista químico les dice que según lo que leyó en el manual seleccionará la primera longitud de onda de la Tabla expuesta en el Modelo 1, la cual es de 357,9 nm; dado que, tomará para los cálculos respectivos el valor de la *Characteristic Concentration Check (mg/L)* para realizar la calibración instrumental desde la elaboración de una disolución stock y los estándares de trabajo.

4. Discutan con su equipo si el analista está o no en lo correcto. Escriban aquí sus comentarios y justifiquen su respuesta.
5. Según la discusión realizada y las definiciones expuestas en la Tabla 2, ¿escogerían la *Characteristic Concentration Check (mg/L)* para realizar la calibración correspondiente a dicha longitud de onda? Justifiquen su respuesta.

Modelo 2. Método de calibración instrumental estándar o tradicional

Hora de inicio:

Hora de finalización:

Su equipo de trabajo acompaña al analista para realizar la calibración instrumental por la metodología estándar en el análisis de Cr. Para ello, acordaron en tomar la primera longitud de onda analítica expuesta en la Tabla 1 del Modelo 1 y realizar las disoluciones de trabajo espaciadas uniformemente para la elaboración de una curva de calibración, con material del laboratorio clase A, lavado y seco, así como reactivos de grado analítico.

Siguieron la ruta metodológica expuesta en la Figura 1:

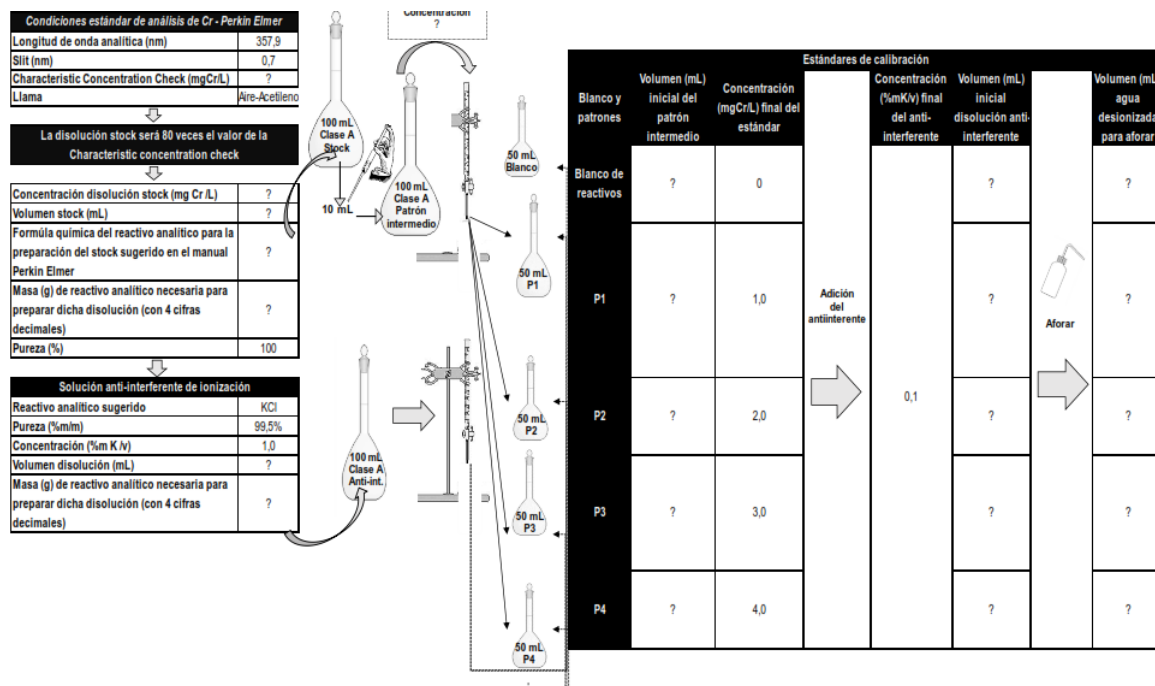


Figura 1. Ruta metodológica realizada por el analista para la calibración instrumental por la metodología estándar.

7

Preguntas claves – Key Questions

6. Según la Figura 1 del Modelo 2, ¿cuáles expresiones de concentración o fórmulas matemáticas requieren para completar la información con signo de interrogación? Justifiquen su elección.

7. De acuerdo a las expresiones de concentraciones o fórmulas matemáticas mencionadas anteriormente, completen la información faltante de la ruta metodológica expuesta en la Figura 1 del Modelo 2.

Para ello, se sugiere que un miembro del equipo realice los cálculos correspondientes, otro adjunte la muestra de los cálculos efectuados, socialícenlos entre ustedes para estar de acuerdo y anéxeles.

8. Con sus propias palabras y usando un esquema gráfico, describan brevemente la ruta metodológica expuesta en la Figura 1 que se llevó a cabo para realizar la calibración instrumental por la metodología estándar.

Consideren esto...

Uno de los profesores de la Facultad de Humanidades de la Universidad rondaba el laboratorio, y quedó con la curiosidad de cómo se preparaban los estándares que su equipo de trabajo, junto al analista, elaboraron para la calibración instrumental por el método tradicional.

9. Describan brevemente, con sus propias palabras, el paso a paso de la elaboración de uno de los patrones de calibración que deseen, teniendo presente el siguiente material de laboratorio adicional a los materiales y reactivos químicos expuestos en la Figura 1 del Modelo 2: Balanza analítica de 4 cifras decimales; balones aforados clase A de 100 mL; pipetas aforadas clase A de 0,5 mL, 1 mL, 2 mL, 10 mL; Bureta de 25 mL; vaso de precipitados 250 mL; Frasco lavador; Agua desionizada.

8

Modelo 3. Curva de calibración, rango o intervalo lineal

Hora de inicio:

Hora de finalización:

Los resultados de la metodología estándar realizada junto con el analista según la Figura 1 del Modelo 2, ajustando las condiciones estándar expuestas en el manual Perkin Elmer, se obtuvieron los valores por triplicado expuestos en la Tabla 3. El analista menciona que, el tratamiento a la muestra de agua residual, primero la filtró y luego le aplicó el mismo método que a los estándares y se le aplicaron dos factores de dilución.

Asimismo, realizó la lectura adicional de otros patrones que el área de calidad le sugirió para analizar el rango lineal de trabajo.

Tabla 3. Lecturas de absorbancia para los estándares de calibración y la muestra.

Patrones y muestra	Concentración de Cr (mg/L)	Medidas de absorbancia			Promedio
		Medida 1	Medida 2	Medida 3	
P1	1,0	0,047	0,047	0,048	
P2	2,0	0,089	0,089	0,091	
P3	3,0	0,125	0,125	0,124	
P4	4,0	0,164	0,164	0,167	
P5	5,0	0,200	0,200	0,201	
P6	6,0	0,242	0,243	0,242	
P7	7,0	0,298	0,294	0,293	
P8	8,0	0,361	0,362	0,362	
P9	9,0	0,401	0,400	0,400	
P10	10,0	0,441	0,442	0,442	
Muestra	Fd ₁ : 1/2; Fd ₂ : 2/4	0,127	0,128	0,126	

Nota: Lecturas de absorbancia tomadas a una longitud de onda analítica de 357,9 nm; slit: 0,7 nm; llama aire-acetileno, equipo Perkin Elmer.

Fd: Hace referencia a Factor de dilución.

Preguntas claves – Key Questions

10. Si observan detenidamente los valores de absorbancia y concentración, ¿Qué relación podría establecer entre estos? (Pista: cuál es la variable independiente y dependiente).

Su equipo de trabajo le sugiere al analista apoyarse en una hoja de cálculo de Excel para realizar un gráfico (teniendo presente la relación establecida en el punto 10).

11. Inserten los valores en la hoja de cálculo de Excel, realicen los promedios de las medidas de absorbancia para cada uno de los patrones y la muestra. Escriban en la tabla sus resultados.

12. Desde las herramientas de Excel, realicen un gráfico de la señal (eje y) y la concentración (eje x) con los datos de la Tabla 3 del Modelo 3. Recuerden rotular el gráfico, dándole un título, y nombres a los ejes. Posteriormente, desde la opción de "formato de línea de tendencia" anexen en el gráfico la ecuación obtenida y el valor del coeficiente de determinación R^2 . Usualmente valores del R^2 cercanos a 1 muestran el mejor ajuste, en este caso, lineal.

¿Qué pueden decir del ajuste de los datos sobre la línea de tendencia?

Consideren esto...

El analista químico les menciona un apartado del manual Perkin Elmer donde expresa que en la ley de Lambert-Beer-Bouger se presentan limitaciones debido a efectos químicos o del propio instrumento; lo cual influye sobre la relación entre la concentración y la absorbancia. Se establece que posiblemente a concentraciones altas del analito la señal analítica no sigue un comportamiento lineal.

Apoyados en la hoja de cálculo, realizarán tres gráficos; unos miembros del equipo tomarán los datos en el rango 1 mg/L a 6 mg/L; otros, 1 mg/L a 7 mg/L; los restantes, 1 mg/L a 8 mg/L. Recuerden presentar en los gráficos, el título respectivo, los rótulos de los ejes, la ecuación del gráfico y el coeficiente de correlación.

13. Anexen los gráficos obtenidos.

14. ¿Qué le sucede al valor de R^2 al eliminar los valores de concentraciones altas de la curva de calibración?

10

El analista revisó los coeficientes de correlación en los gráficos obtenidos; dice que según el manual Perkin Elmer, Organismos como la ASTM manejan un criterio de ajuste lineal en términos del valor del coeficiente de determinación R^2 comprendido en el rango de 0,995 a 0,9999. Recordando que la señal analítica y la concentración muestran una relación lineal.

15. ¿Cuál rango de concentraciones, gráfico, ecuación y valor de coeficiente de determinación escogerían? Justifiquen su elección. (Pista: se recomienda tener presente los aspectos del punto 12).

16. De acuerdo a la ecuación de la gráfica seleccionada, y teniendo presente el valor de absorbancia promediada de la muestra y sus factores de dilución, reporten la concentración de Cr presente en la muestra y el cálculo realizado.

11

Modelo 4. Sensibilidad analítica, límite de detección, límite de cuantificación y rango o intervalo útil de trabajo del instrumento.

Hora de inicio:

Hora de finalización:

El área de calidad del laboratorio de la Universidad acostumbra a especificar en sus reportes los siguientes parámetros: *sensibilidad analítica, límite de detección, límite de cuantificación e intervalo útil de trabajo del instrumento*. Para mencionarlos, se apoyan en el análisis de la mejor de curva de calibración seleccionada, teniendo presente lo expuesto en la Guía Eurachem de Eurolab España sobre validación de métodos analíticos.

17. Con su equipo de trabajo, revisen y lean las páginas sugeridas de la Guía Eurachem y definan con sus propias palabras (en dos o tres oraciones), a que se refieren los parámetros mencionados en la Tabla 4 del Modelo 4.

Tabla 4. Parámetros que se pueden extraer y analizar a partir de una curva de calibración.

Páginas sugeridas de la Guía para leer	Parámetro	Unidades de medida y siglas (las que apliquen)	Definición con sus propias palabras (en 2 o 3 oraciones)
20 - 21	Límite de detección		
24	Límite de cuantificación		
27 - 28	Intervalo lineal o rango lineal		
	Intervalo de trabajo o rango útil de trabajo		
30	Sensibilidad analítica		

18. Teniendo presente las definiciones elaboradas y expuestas en la Tabla 4 del punto 17, señalen en el gráfico de la Figura 2 del Modelo 4 los parámetros anteriormente enunciados.

12

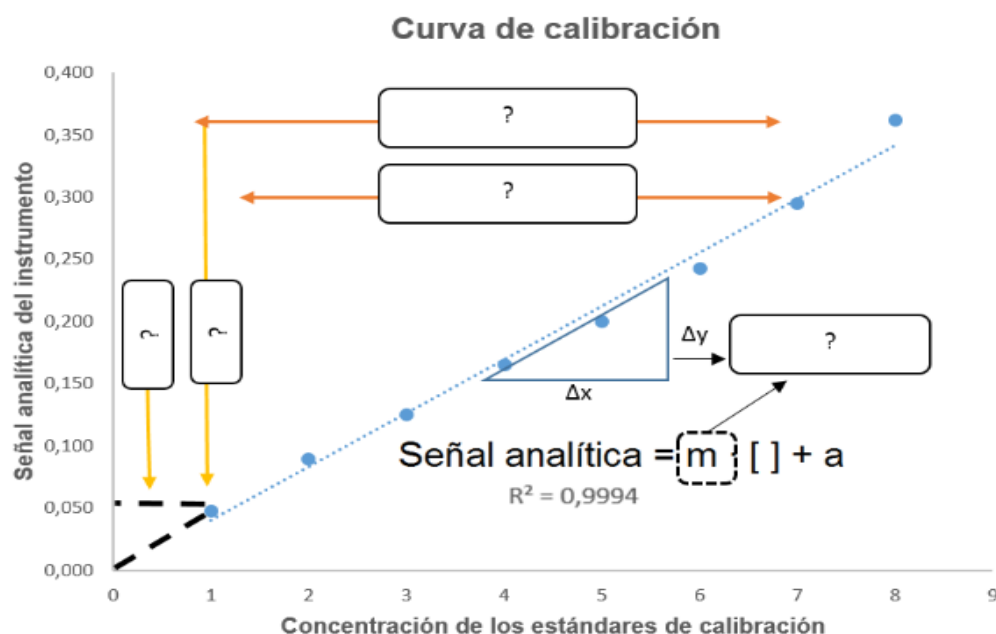


Figura 2. Parámetros que se pueden extraer y analizar a partir de una curva de calibración.
19. De acuerdo a la definición expresada en el punto 17 y el gráfico del punto 18, ¿cuál sería el valor de la *sensibilidad analítica* de acuerdo al gráfico de la curva de calibración que seleccionaron en el punto 15 del Modelo 3? Justifiquen su respuesta.

13

Consideren esto...

En la Guía Eurachem se expresa que el límite de detección (LOD) y el límite de cuantificación (LOQ) se pueden determinar empleando procedimientos analíticos de lectura de blancos de reactivos o de muestra, o *por análisis de la curva de calibración seleccionada*. Para este último caso, el área de calidad le mostró al analista un operador matricial de la hoja de cálculo de Excel llamado **estimación lineal**, que emplean para determinarlos. Para ello, debe seguir el procedimiento ilustrado en la Figura 3.

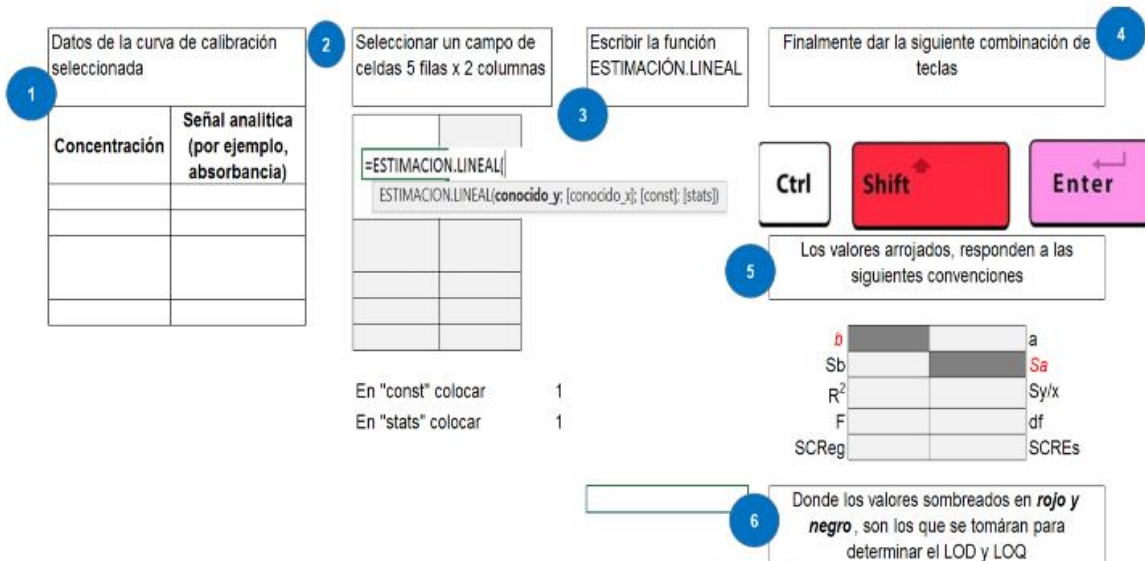


Figura 3. Función *Estimación lineal* en la hoja de cálculo de Excel.

20. Teniendo en cuenta las variables y datos que se grafican en una curva de calibración, ¿qué datos se deben seleccionar para “conocido_y” y “conocido_x” para completar los argumentos de la función *Estimación lineal* expuesta en la Figura 3 del Modelo 4?

21. De acuerdo a la respuesta acordada y expresada en el punto 20, ejecuten la función *Estimación lineal* con los datos de la curva de calibración seleccionada en el punto 15. Anexen los resultados aquí con las convenciones respectivas de los valores según la Figura 3.

14

La Guía expone las siguientes expresiones matemáticas para determinar el LOD y el LOQ:

$$LOD = \frac{3 Sa}{b}$$

$$LOQ = \frac{10 Sa}{b}$$

Donde Sa corresponde a la desviación estándar del intercepto; b , es el valor de la pendiente.

22. ¿Cuáles datos determinados en el punto 21 y según la Figura 3 se necesitan para calcular el LOD y el LOQ? ¿Cuáles son sus unidades de medida?

23. Calculen y escriban los valores de LOD y LOQ indicando sus unidades de medida.

La Guía expone brevemente que el rango útil de trabajo es aquel que relaciona el LOQ y el valor más alto de concentración, según el intervalo de concentraciones seleccionada, que muestra una relación lineal entre la señal analítica y las concentraciones.

24. De acuerdo a lo anteriormente mencionado y los datos de concentraciones de la curva de calibración seleccionada y expuesta en el punto 15, ¿Cuál es el intervalo útil de trabajo?

Aplicaciones

Hora de inicio:	
Hora de finalización:	

En el monitoreo de un proceso de remoción de plomo (Pb) en aguas residuales industriales empleando una tecnología no convencional, se utilizó la técnica analítica de Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama; esto, empleando un equipo Perkin Elmer. Frente a ello, el analista químico observó en el manual las condiciones estándar de absorción atómica para dicho metal y tomó como referencia la primera longitud de onda analítica la cual fue de _____ nm. Teniendo presente está, la casa matriz sugiere utilizar un slit de _____ nm, Characteristic Concentration Check de _____ mg/L y Linear Range de _____ mg/L. Asimismo, el tipo de llama recomendado es _____.

Para la preparación de la disolución stock y de los estándares de calibración empleo _____ como reactivo analítico sugerido en el manual. La concentración de la disolución stock se preparó 80 veces el valor de la Characteristic Concentration Check, quedando a _____ mg/L. Para la elaboración del stock, se hicieron los cálculos respectivos y se pesó la cantidad de reactivo químico, el cual se disolvió y diluyó con HNO₃ 1%v/v hasta un volumen de 100 mL y se utilizó como disolución anti-interferente de ionización KCl 10 %m/v.

Se tomaron 10 mL del stock y se llevó a un volumen final de 100 mL para realizar una disolución **patrón intermedia**. A partir de esta disolución se elaboraron los patrones de calibración. Adicionalmente, se aplicó el mismo tratamiento a la muestra de agua.

El analista preparó estándares hasta el valor del rango lineal y adicionales. La lectura de las absorbancias de los patrones y la muestra se muestran en la siguiente tabla:

Patrones y muestra	Concentración de Pb (mg/L)	Volumen final del estándar (mL)	Volúmenes iniciales patrón intermedio (mL)	Medidas de absorbancia			Promedio
				Medida 1	Medida 2	Medida 3	
P1	2,0	50		0,110	0,112	0,113	
P2	3,0			0,121	0,121	0,121	
P3	5,0			0,140	0,140	0,141	
P4	10,0			0,198	0,198	0,198	
P5	15,0			0,252	0,243	0,242	
P6	20,0			0,297	0,294	0,293	
P7	25,0			0,363	0,363	0,362	
P8	30,0			0,400	0,400	0,400	
P9	35,0			0,442	0,442	0,443	
P10	40,0			0,482	0,482	0,483	
Muestra	Fd ₁ : 2/4; Fd ₂ : 3/5			0,127	0,128	0,126	

16

1. Diligencien cada uno de los espacios en blanco del problema.
2. Construir y seleccionar la curva de calibración adecuada, según el criterio del coeficiente de determinación R² visto; especificar la ecuación de la recta y el valor del coeficiente de determinación.
3. De acuerdo a la curva de calibración elegida y el rango de concentraciones adecuado, mencionar el rango lineal, la sensibilidad analítica, LOD, LOQ, y el intervalo útil de trabajo.

Nota. Anexar los cálculos realizados, adjuntando la hoja de cálculo de Excel donde trabajaron o las imágenes respectivas.

Anexo 3. Actividad POGIL 1: Calibración instrumental en Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama: método equiparación de matriz.

Calibración Instrumental en Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama: Método de equiparación de matriz

Instrumental Calibration in Flame Atomic Absorption Spectrophotometry (FAAS): Matrix Matching Method

¿Cuándo se debe emplear el método de equiparación de matriz en el análisis de metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama –con excepción de elementos metálicos de alta volatilidad y que forman óxidos tóxicos a altas temperaturas–?, ¿en qué se diferencia la metodología de calibración instrumental estándar y la de equiparación de matriz?, ¿cuáles de los parámetros analizados en una curva de calibración seleccionada permanecen igual o cambian en la metodología de equiparación de matriz en contraste al método estándar?

¿Porqué? – Why?

Como se vio en el material anterior, para el análisis de metales se emplea la Espectrofotometría de Absorción Atómica, en este caso, empleando la llama como una de las formas de atomización de la muestra. Además, recordando la excepción a esta para la cuantificación de elementos metálicos altamente volátiles o que pueden formar óxidos tóxicos a altas temperaturas, entre los que se encuentran Hg, As, Se, Cd, Sb, Bi, Ge, Te, Tl, Sn, Pb, Ni, Ga, para los cuales conviene usar el Generador de Hidruros, Horno de Grafito, vapor frío (solo para mercurio) o ICP-MS (Plasma Acopado Inductivamente – Espectrometría de Masas) para realizar el análisis respectivo.

Sin embargo, las muestras que usualmente se analizan en el laboratorio son matrices analíticas de composición química compleja y variable. Debido a esto, se pueden presentar interferencias en el análisis de un determinado metal de interés, en la aspiración, nebulización, volatilización, así como en el número de átomos formados. Lo anterior, posiblemente puede atribuirse a factores como las propiedades físicas de la matriz, sustancias químicas presentes en la misma y/o formadas en la llama, o por la absorción de una especie química a la misma longitud de onda del mensurando.

¿Qué metodología se puede emplear para enmascarar, reducir o eliminar las interferencias analíticas debidas a la matriz?, ¿En qué se distingue el método de calibración estándar y el de equiparación de matriz?, ¿cuáles de los parámetros analizados en una curva de calibración seleccionada (rango lineal, LOD, LOQ intervalo útil de trabajo, sensibilidad analítica) permanecen igual o cambian en la metodología de equiparación de matriz en contraste al método estándar?

Requisitos previos – Prerequisites

- ❖ Finalización del material *Calibración instrumental en Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama: método estándar*.
- ❖ Concepto de interferencia analítica.
- ❖ Cálculos de diluciones, unidades de concentración (mg/L), preparación de disoluciones estándar equiparadas.

Objetivos de aprendizaje de contenido - Content Learning Objectives

Los estudiantes serán capaces de:

- ❖ Mencionar algunas de las interferencias analíticas que pueden presentarse en el análisis de metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama, junto con posibles formas de reducirlas/eliminarlas/sustraerlas.
- ❖ Distinguir entre la metodología de calibración instrumental estándar y la de equiparación de matriz.
- ❖ Especificar cuáles de los parámetros analizados en una curva de calibración seleccionada (rango lineal, LOD, LOQ intervalo útil de trabajo, sensibilidad analítica) permanecen igual o cambian en la metodología de equiparación de matriz en contraste al método estándar.

Objetivos de aprendizaje de proceso - Process Learning Objectives

Los estudiantes serán capaces de:

- ❖ Evaluar cuando es necesario emplear la metodología de equiparación de matriz en la calibración instrumental de la técnica instrumental Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama (*Procesamiento de la información*).
- ❖ Construir, seleccionar e interpretar una curva de calibración desde la manipulación y transformación de los datos obtenidos en el método de equiparación de matriz (*Procesamiento de la información*).
- ❖ Hacer inferencias acerca del efecto de las interferencias analíticas sobre los parámetros de la curva de calibración y el análisis de un metal de interés analítico (*Procesamiento de la información*).

Lecturas adicionales - Further Reading

- ❖ Perkin Elmer Corporation. (1996). *Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy*. United States of America.
- ❖ Lectura tomada y adaptada de: Harris, D. (2010). Atomic Spectroscopy - Interferences. En *Quantitative Chemical Analysis* (8.a ed., pp. 493–494). W. H. Freeman and Company.
- ❖ Phiri, S. (2017). *Comparative study of the matrix matching method and standard addition method in the determination of selected trace impurities in electrolytic nickel cathodes* [Bachelor's Thesis, Bindura University of Science Education]

Autor - Author

Javier Andrés Esteban-Muñoz

Nombre del equipo	
Roles del equipo	Nombre del miembro del equipo
 Manager	
 Vocero	
 Analista de calidad	
 Analista de procesos	

Recuerden: si su equipo de trabajo está conformado por tres integrantes, un miembro será el encargado de los roles de manager y analista de procesos.

Modelo 1. Interferencias analíticas en Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama

Hora de inicio:	
Hora de finalización:	

El analista químico de un laboratorio fisicoquímico dedicado al análisis de muestras ambientales, recibió una muestra de agua residual proveniente de una industria de curtiembres. Según lo que ha leído el analista en noticias de periódico, así como en artículos científicos, este tipo de matrices son bastante complejas debido a la gran cantidad de contaminantes, particularmente, de naturaleza inorgánica (por ejemplo: Fe, Ni). El cliente solicitó el análisis de cromo (Cr) para verificar si las aguas que vierten están por debajo del límite máximo permisible contemplado en la norma respectiva. Para tal fin, el laboratorio cuenta con el equipo Perkin Elmer.

Antes de comenzar, el analista consulto previamente en fuentes de información reconocidas el efecto de las interferencias analíticas que pudieran presentarse en el análisis del metal, esto con el fin de asegurar la calidad del ensayo a realizar.

En su revisión, organizó la información según el esquema de la Figura 1:

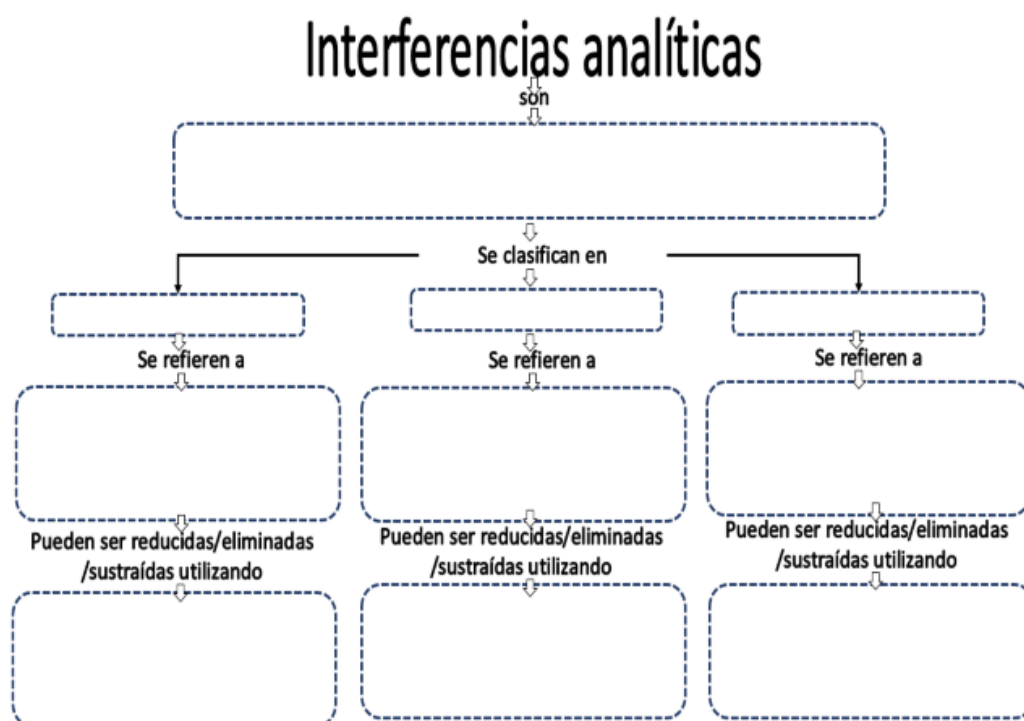


Figura 1. Interferencias analíticas usualmente presentes en el análisis de metales por la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con atomización de llama y formas de reducirlas.

Preguntas claves – Key Questions

1. Realicen la lectura del documento entregado –Harris, D. (2010). Atomic Spectroscopy - Interferences. En *Quantitative Chemical Analysis*–. Después, completen con sus propias palabras en dos o tres oraciones el esquema gráfico de la Figura 1 del Modelo 1.
2. Revisen los *Standard Atomic Absorption Conditions* del Cr y otro metal adicional, en la sección *Interferences* expuesta en los métodos del manual de la casa matriz Perkin Elmer. Luego, realicen un esquema u organizador gráfico donde especifiquen con sus propias palabras algunas de las interferencias encontradas. Según los acuerdos consignados en la Figura 1, clasifiquen la interferencia analítica y mencionen la forma de suprimirla o reducirla de acuerdo a las sugerencias del método y en lo posible expongan otras alternativas adicionales.

Consideren esto...

De acuerdo a la revisión documental realizada y organizada por el analista frente a las interferencias analíticas infirió que, según las sustancias químicas presentes probablemente en la muestra de agua residual, podrían provocar interferencias químicas. Para eliminarlas o reducirlas, encontró que se puede emplear cualquiera de las siguientes metodologías: *adición estándar o equiparación de matriz*.

3. Realicen la lectura del documento titulado –Phiri, S. (2017). *Comparative study of the matrix matching method and standard addition method in the determination of selected trace impurities in electrolytic nickel cathodes* [Bachelor's Thesis, Bindura University of Science Education]– en las secciones “2.6.1. Standard Addition Method”; “2.6.2. Matrix Matching Method”, “Table 5.1 Comparison of Matrix Matching and Standard Addition” que se encuentran en las páginas 12, 13 y 47 respectivamente.

Elaboren una definición con sus propias palabras en dos o tres oraciones sobre:

3.1. Standard Addition Method:

3.2. Matrix Matching Method:

3.3. De acuerdo a la lectura realizada y según las consideraciones experimentales en la Tabla 1 subrayen o resalten una de las metodologías de calibración, expuestas en la misma, para el análisis del agua residual; justifiquen su elección consignando sus acuerdos en la Tabla.

Tabla 1. Consideraciones experimentales de metodologías de calibración instrumental.

Consideración experimental	Metodologías de calibración		Justificación
Tiempo	Adición estándar	Equiparación de matriz	
Costos	Adición estándar	Equiparación de matriz	
Sensibilidad	Adición estándar	Equiparación de matriz	
LOD	Adición estándar	Equiparación de matriz	
LOQ	Adición estándar	Equiparación de matriz	
Linealidad	Adición estándar	Equiparación de matriz	
Dificultad experimental	Adición estándar	Equiparación de matriz	

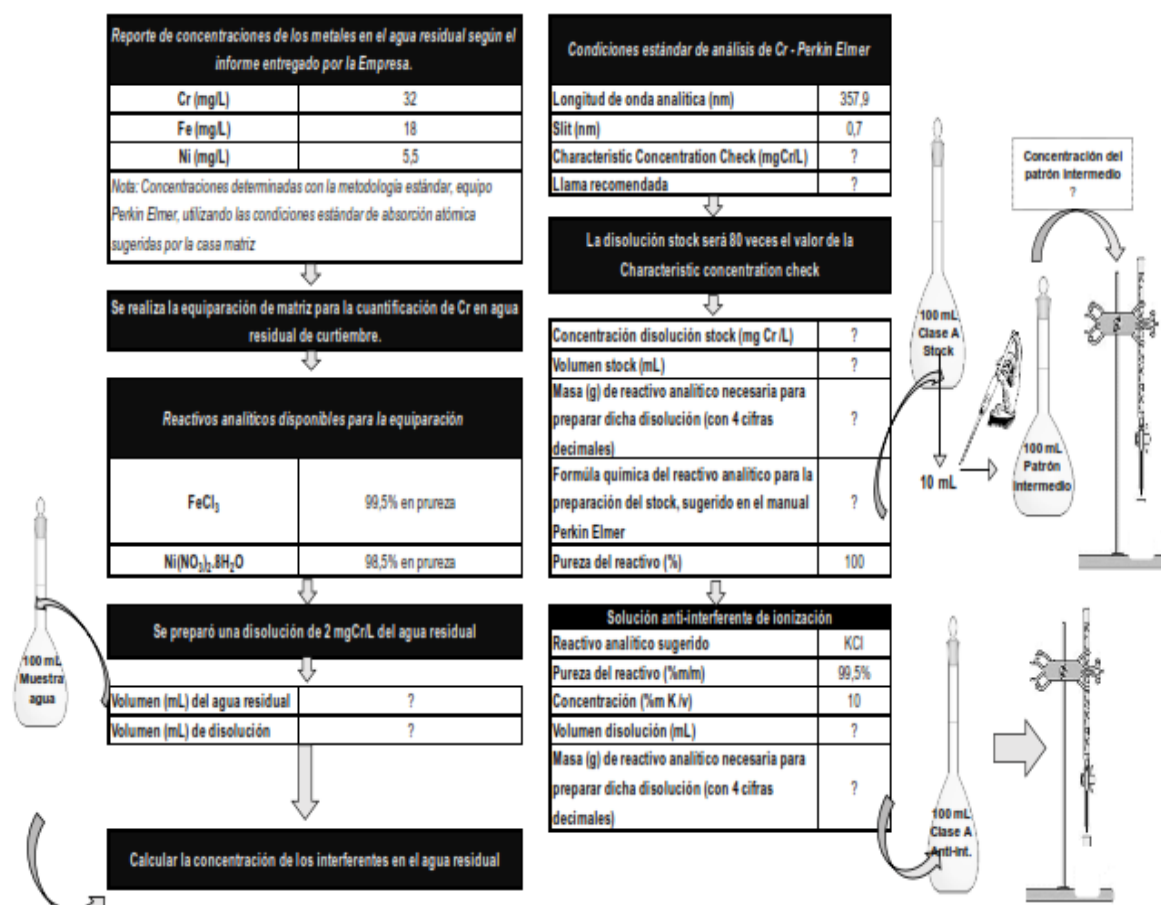
Modelo 2. Método de calibración instrumental equiparación o igualación de matriz.

Hora de inicio:

Hora de finalización:

De acuerdo a la indagación documental realizada por el analista, decidió realizar la metodología de *equiparación de matriz*; dado el análisis que hizo desde las consideraciones experimentales según la Tabla 1 del Modelo 1. Para ello, encontró que dicho método se emplea para reducir o eliminar el efecto de las interferencias físicas o químicas, en este caso, en la cuantificación de un metal de interés analítico. En este, se busca equiparar o igualar, tan cerca como sea posible, los estándares de calibración; esto, desde la adición de un cierto volumen de una *disolución spiked* –también llamada matriz de “muestra”– que contiene los componentes o sustancias químicas presentes en la matriz analítica, con el fin de que queden a la misma concentración de los constituyentes de la muestra. Para planear y realizar el método, se deben tener valores de referencia en cuanto a la concentración de los interferentes presentes, en este caso, la cantidad de metales -diferentes del Cr- presentes en el agua residual, para lo cual conviene consultar literatura primaria que muestre reportes relacionados con el análisis, o realizar la calibración estándar para determinar la concentración del analito de interés, así como de los interferentes, y luego, hacer la equiparación de matriz. El analista le solicitó a la empresa si le podían facilitar un informe de análisis de sus aguas residuales; del reporte suministrado, lo tomó como referencia para preparar la muestra de agua y equiparar los estándares de calibración. Planeó y siguió la ruta metodológica expuesta en la Tabla 2.

Tabla 2. Ruta metodológica realizada por el analista para la calibración instrumental por la metodología de equiparación de matriz.

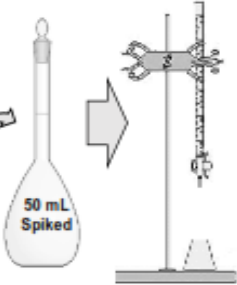


Calcular la concentración de los interferentes en el agua residual

Concentración (mg Fe/L)	?
Concentración (mg Ni/L)	?

Se preparó la disolución spiked que contiene los interferentes 10 veces la concentración de cada uno

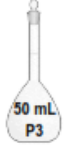
Concentración (mg Fe/L)	?
Concentración (mg Ni/L)	?
Volumen (mL) disolución spiked	?
Masa (g) sal de hierro necesaria para elaborar el spiked	?
Masa (g) sal de níquel necesaria para elaborar el spiked	?



Estándares de calibración equiparados

Número	Volumen (mL) inicial del patrón intermedio	Concentración (mgCr/L) final del estándar		Concentración (%mKv) final del anti-interferente	Volumen (mL) inicial disolución anti-interferente		Volumen (mL) inicial disolución spiked		Volumen (mL) agua desionizada para aforar
Blanco de reactivos	?	0			?		?		?
P1	?	1,0	Adición del antiinterferente		?	Adición de spiked	?	Aforar	?



				✓			✓			
	→	P2	?	2,0		0,1	?		?	?
	→	P3	?	3,0			?		?	?
	→	P4	?	4,0			?		?	?

Preguntas claves – Key Questions

- Según la Tabla 2 del Modelo 2, ¿cuáles expresiones de concentración o fórmulas matemáticas requieren para completar la información con signo de interrogación? Justifiquen su elección.
- 8
- De acuerdo a las expresiones de concentraciones o fórmulas matemáticas mencionadas anteriormente, completen la información faltante de la ruta metodológica expuesta en la Figura 2 del Modelo 2.
Para ello, se sugiere que un miembro del equipo realice los cálculos correspondientes, otro adjunte la muestra de los cálculos efectuados, socialícenlos entre ustedes para estar de acuerdo y anéxelos.
 - Con sus propias palabras y usando un esquema gráfico, describan la ruta metodológica que se llevó a cabo para realizar la calibración instrumental por la metodología equiparación de matriz expuesta en la Tabla 2.
 - Describan brevemente, con sus propias palabras, el paso a paso para elaborar uno de los patrones de calibración equiparados, teniendo presente el siguiente material de laboratorio adicional a los materiales y reactivos químicos expuestos en la Figura 1 del Modelo 2:
Balanza analítica de 4 cifras decimales; balones aforados clase A de 100 mL; pipetas aforadas clase A de 0,5 mL, 1 mL, 2 mL, 10 mL; Buretas de 25 mL; vaso de precipitados 250 mL; Frasco lavador; Agua desionizada.

8. Según los acuerdos expresados en los puntos 6 y 7, así como el material visto sobre *Calibración Instrumental en Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama: Método estándar*, ¿en qué se diferencia la metodología de calibración estándar y la de equiparación de matriz? Discútanlo y redacten un párrafo de tres a cuatro oraciones exponiendo sus acuerdos.

Modelo 3. Curva de calibración, rango o intervalo lineal, sensibilidad analítica, límite de detección, límite de cuantificación y rango o intervalo útil de trabajo del instrumento.

Hora de inicio:	
Hora de finalización:	

Los resultados de la metodología de calibración por equiparación de matriz realizada por el analista se exponen en la Tabla 3, donde se muestra la lectura de estándares equiparados adicionales. Asimismo, en la Tabla anexó los valores de calibración estándar que se encontraban en el reporte que la Empresa le suministró, esto con el fin de analizar que parámetros de la curva de calibración que vaya a seleccionar cambian o permanecen igual. El analista menciona que, el tratamiento a la muestra de agua residual le aplicó dos factores de dilución.

Tabla 3. Lecturas de absorbancia para los estándares de calibración y la muestra.

Patrones y muestras	Concentración de Cr (mg/L)	Método estándar (Absorbancia)	Método de equiparación de matriz (Absorbancia)
P1	1,0	0,047	0,095
P2	2,0	0,089	0,139
P3	3,0	0,125	0,182
P4	4,0	0,164	0,222
P5	5,0	0,200	0,265
P6	6,0	0,242	0,304
P7	7,0	0,298	0,333
P8	8,0	0,361	0,394
P9	9,0	0,401	0,434
P10	10,0	0,441	0,470
Muestra	Fd ₁ : 1/2; Fd ₂ : 2/4	0,127	0,128

Nota: Lecturas de absorbancia tomadas a una longitud de onda analítica de 357,9 nm; slit: 0,7 nm; llama aire-acetileno, equipo Perkin Elmer. Las absorbancias reportadas son el promedio de tres medidas.

Fd: Factor de dilución.

Preguntas claves – Key Questions

9. Con apoyo de la hoja de cálculo de Excel, construyan la curva de calibración con los datos obtenidos para la metodología de calibración estándar y equiparación de matriz reportados en la Tabla 3. Anexen aquí los gráficos elegidos – de acuerdo al criterio de selección visto en el material *Calibración Instrumental en Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama: Método estándar* – especificando los rótulos de los ejes, un título al gráfico, el coeficiente de determinación y la ecuación de la recta respectiva.

10. De acuerdo a la ecuación de las gráficas seleccionadas, respectivas para cada método de calibración, y teniendo presente el valor de absorbancia promediada de la muestra y sus factores de dilución, reporten la concentración de Cr presente en la muestra y el cálculo realizado, ¿qué pueden decir de las concentraciones de Cr determinadas para cada método?

11. Diligencien la siguiente tabla de acuerdo a lo visto en el material *Calibración Instrumental en Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama: Método estándar*; resalten o subrayen si en la comparación de cada uno de los parámetros de la curva de calibración vistos cambiaron o son iguales. Adicionalmente, tengan presente esto:

El analista químico recuerda las siguientes expresiones matemáticas para determinar el LOD y el LOQ, con apoyo de la función matricial *Estimación lineal* en Excel:

1 Datos de la curva de calibración seleccionada

Concentración	Señal analítica (por ejemplo, absorbancia)

$$LOD = \frac{3 Sa}{b}$$

$$LOQ = \frac{10 Sa}{b}$$

2 Seleccionar un campo de celdas 5 filas x 2 columnas

En "const" colocar 1
En "stats" colocar 1

3 Escribir la función ESTIMACIÓN.LINEAL

=ESTIMACIÓN.LINEAL(
ESTIMACIÓN.LINEAL(conocido_y; [conocido_x]; [const]; [stats])

4 Finalmente dar la siguiente combinación de teclas

Ctrl

Shift

Enter

5 Los valores arrojados, responden a las siguientes convenciones

b	a
Sb	Sa
R ²	Sy/x
F	df
SCReg	SCREs

6 Donde los valores sombreados en **rojo y negro**, son los que se tomarán para determinar el LOD y LOQ

Valores de los parámetros				En tal caso de que haya cambiado, ¿aumento o disminuyó el valor del parámetro? (tomando como referencia el método estándar)
Parámetro	Metodología estándar	Metodología de equiparación de matriz	Los parámetros para las dos metodologías:	
Rango lineal de concentraciones			Son iguales	Cambiaron
Sensibilidad analítica			Son iguales	Cambiaron
LOD			Son iguales	Cambiaron
LOQ			Son iguales	Cambiaron
Intervalo útil de trabajo			Son iguales	Cambiaron

Nota: Recuerden anexar los cálculos correspondientes donde aplique y la hoja de cálculo de Excel.

12. Según los parámetros analizados sobre la curva de calibración seleccionada y que detallaron en la Tabla del punto 11, ¿qué pueden decir del efecto de las interferencias analíticas sobre estos? Discútanlo y redacten un párrafo de tres a cuatro oraciones exponiendo sus acuerdos.

Aplicaciones

Hora de inicio:	
Hora de finalización:	

Un empresario solicitó a un laboratorio ambiental realizar el análisis de plomo (Pb) en una muestra de agua residual de su industria metalúrgica. Para ello, el analista químico se documenta previamente sobre la composición química de la matriz; le solicitó al cliente si le podía suministrar un informe de análisis de las aguas de la empresa.

En la revisión del informe suministrado por el cliente, el analista se dio cuenta que las aguas residuales podrían tener concentraciones de Fe y Zn, lo cual podría, posiblemente, ocasionar interferencias de tipo _____. Como forma(s) de reducirlas o eliminarlas, se podría _____. De acuerdo a las formas planteadas, decidió emplear la metodología de equiparación de matriz (recordando que esta se diferencia de la metodología _____ estándar _____ por _____).

Las concentraciones de los metales en el agua residual, según el informe entregado, se exponen a continuación:

Reporte de concentraciones de los metales en el agua residual según el informe entregado por la Empresa.	
Pb (mg/L)	64
Fe (mg/L)	36
Zn (mg/L)	10
<i>Nota: Concentraciones determinadas con la metodología estándar, equipo Perkin Elmer, utilizando las condiciones estándar de absorción atómica sugeridas por la casa matriz</i>	

El laboratorio cuenta con un espectrofotómetro de absorción atómica con atomización de llama, marca Perkin Elmer. Los reactivos analíticos con los que cuenta el laboratorio para realizar la equiparación son:

Reactivos analíticos disponibles para la equiparación	
FeCl₃	99,5% en pureza
Zn(NO₃)₂·8H₂O	98,5% en pureza

De acuerdo a la concentración de Pb presente posiblemente en el agua residual, se realizó una disolución a 2 mg/L de Pb. Para ello, se tomó _____ mL del agua residual y se llevaron a un volumen de 100 mL. Posteriormente, se calculó la concentración de los interferentes en el agua medida, donde la concentración de Fe fue de _____ mg/L y la de Zn _____ mg/L.

Luego, se amplificó la concentración de cada uno de los interferentes 10 veces, quedando la concentración de Fe _____ mg/L y la de Zn _____ mg/L. A partir de estas concentraciones, y dado que se buscaba preparar un volumen de *disolución spiked* de 50 mL, se pesó _____ g de la sal de hierro y _____ g de la sal de zinc en una balanza analítica de cuatro cifras decimales y se llevaron a un balón aforado de dicho volumen enrazando con agua desionizada.

Por otro lado, el analista observó en el manual Perkin Elmer las condiciones estándar de absorción atómica para Pb y tomó como referencia la primera longitud de onda analítica la cual fue de _____ nm. Teniendo presente está, la casa matriz sugiere utilizar un slit de _____ nm,

Characteristic Concentration Check de _____ mg/L y Linear Range de _____ mg/L. Asimismo, el tipo de llama recomendado es _____.

Para la preparación de la disolución stock y de los estándares de calibración empleo _____ como reactivo analítico sugerido en el manual. La concentración de la disolución stock se preparó 80 veces el valor de la Characteristic Concentration Check, quedando a _____ mg/L. Para la elaboración del stock, se hicieron los cálculos respectivos y se pesó la cantidad de reactivo químico, el cual se disolvió y diluyó con HNO₃ 1%v/v hasta un volumen de 100 mL.

Se tomaron 10 mL del stock y se llevó a un volumen final de 100 mL para realizar una disolución patrón intermedia. A partir de esta disolución se elaboraron los patrones de calibración, donde se utilizó como disolución anti-interferente de ionización KCl 1 %m/v y añadiendo 5 mL de disolución spiked a cada uno de los estándares de calibración –para que quedarán con la misma concentración de los interferentes del agua residual-. Adicionalmente, se aplicó el mismo tratamiento a la muestra de agua.

El analista preparó estándares hasta el valor del rango lineal y adicionales. La lectura de las absorbancias de los patrones y la muestra se muestran en la siguiente tabla (para el método estándar y el de equiparación de matriz):

Patrones y muestras	Concentración de Pb (mg/L)	Método estándar (Absorbancia)	Método de equiparación de matriz (Absorbancia)
P1	3,0	0,048	0,096
P2	6,0	0,090	0,140
P3	9,0	0,126	0,183
P4	12,0	0,165	0,223
P5	15,0	0,201	0,266
P6	18,0	0,241	0,305
P7	21,0	0,299	0,334
P8	24,0	0,362	0,395
P9	27,0	0,402	0,435
P10	30,0	0,442	0,471
Muestra	Fd ₁ : 2/3; Fd ₂ : 3/4	0,128	0,129

Nota: Lecturas de absorbancia tomadas a una longitud de onda analítica de 357,9 nm; slit: 0,7 nm; llama aire-acetileno, equipo Perkin Elmer.
Las absorbancias reportadas son el promedio de tres medidas.

1. Diligencien cada uno de los espacios en blanco del problema.
2. Construir y seleccionar la curva de calibración adecuada para cada una de las metodologías de calibración, especificar la ecuación de la recta y el valor del coeficiente de determinación.
3. Calcular la concentración de Pb presente en la muestra para cada metodología, ¿qué pueden decir de las concentraciones determinadas para cada método?

Anexo 4. Trabajo de laboratorio simulado: Aplicación de la metodología estándar y equiparación de matriz en la cuantificación de Cr en un proceso de remoción con virutas del Wet blue en aguas residuales sintéticas por Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama.

Trabajo de laboratorio simulado: Aplicación de la Metodología estándar y equiparación de matriz en la cuantificación de Cr en un proceso de remoción con virutas del Wet blue en aguas residuales sintéticas por Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama.

Simulated laboratory work: Application of Standard Methodology and Matrix Matching Method in the quantification of Cr in a process of removal with Wet blue shavings in synthetic wastewater by Flame Atomic Absorption Spectrophotometry (FAAS).

¿Por qué? – Why?

En este laboratorio simulado se busca aplicar los aspectos conceptuales y metodológicos abordados en las actividades POGIL desarrolladas como equipo de trabajo; relacionadas con las metodologías de calibración instrumental estándar y de equiparación de matriz. Lo anterior, en la cuantificación de Cr obtenido de un proceso de remoción en aguas sintéticas, aplicando un residuo sólido de las curtiembres: las virutas del Wet blue.

Para ello, la estandarización de las condiciones óptimas de remoción de Cr con dicho residuo, de acuerdo a algunos trabajos investigativos divulgados, muestran su potencial a pH 5.0, agitación a 200 RPM, tamaño de partícula 5 mm, sin modificación física y/o química, con una dosis de 2 g/L.

En la aplicación de esta tecnología limpia a modo de pilotaje, un laboratorio realizó ensayos con aguas residuales sintéticas para la determinación de la eficiencia en remoción de tres metales de interés: Cr, Zn y Cu. Dado que las concentraciones después del proceso de remoción empleando las virutas del Wet blue son desconocidas, se llevará a cabo en primer lugar la metodología estándar para conocer las concentraciones de los metales en la matriz acuosa sintética.

Conociendo las concentraciones de dichos metales, se realizará la equiparación de matriz solo para la determinación de Cr.

Requisitos previos – Prerequisites

- ❖ Finalización del material POGIL 1. *Calibración instrumental en Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama: método estándar.*
- ❖ Finalización del material POGIL 2. *Calibración Instrumental en Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama: Método de equiparación de matriz.*

Objetivos de aprendizaje de contenido - Content Learning Objectives

Los estudiantes serán capaces de:

- ❖ Aplicar los aspectos conceptuales y metodológicos abordados en las actividades POGIL 1 y 2, en la cuantificación de tres metales (Cr, Zn y Cu) empleando el método estándar y de

equiparación de matriz (solo para Cr) a través de un laboratorio simulado en Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama.

- ❖ Mencionar el rango lineal, límite de detección (LOD), límite de cuantificación (LOQ), el intervalo útil de trabajo y la sensibilidad analítica desde una curva de calibración construida y seleccionada para dichos métodos.
- ❖ Especificar cuáles de los parámetros que se pueden extraer de una curva de calibración seleccionada- el rango lineal, límite de detección (LOD), límite de cuantificación (LOQ), el intervalo útil de trabajo y la sensibilidad analítica- así como la concentración de los analitos, permanecen igual o cambian en la metodología de equiparación de matriz en contraste al método estándar.

Objetivos de aprendizaje de proceso - Process Learning Objectives

Los estudiantes serán capaces de:

- ❖ Interpretar información tabulada en métodos analíticos con respecto a las condiciones estándar de absorción atómica para metales sugeridas en el manual de la casa matriz Perkin Elmer (*Procesamiento de la información*).
- ❖ Evaluar la importancia de la información o los datos necesarios para llevar a cabo la metodología de calibración estándar y equiparación de matriz (*Procesamiento de la información*).
- ❖ Construir, seleccionar e interpretar una curva de calibración desde la manipulación y transformación de los datos obtenidos en la metodología de calibración estándar y equiparación de matriz, así como el efecto de las interferencias analíticas sobre los parámetros de dicho gráfico y el análisis de un metal de interés analítico (*Procesamiento de la información*).

Lecturas adicionales - Further Reading

- ❖ Perkin Elmer Corporation. (1996). *Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy*. United States of America.
- ❖ Eurolab España. P.P. Morillas y colaboradores. (2016). *Guía Eurachem: La adecuación al uso de los métodos analíticos – Una Guía de laboratorio para la validación de métodos y temas relacionados* (1ª ed.).

Autor - Author

Javier Andrés Esteban-Muñoz

Nombre del equipo	
Roles del equipo	Nombre del miembro del equipo
 Manager	
 Vocero	
 Analista de calidad	
 Analista de procesos	

Recuerden: si su equipo de trabajo está conformado por tres integrantes, un miembro será el encargado de los roles de manager y analista de procesos.

Modelo 1. Conociendo el entorno del simulador.

Hora de inicio:	
Hora de finalización:	

1. Antes de comenzar, es preciso mencionar el manejo del simulador y algunas convenciones:
 - 1.1. Descomprima el archivo .exe: posteriormente, elija *Ejecutar como administrador*.
 - 1.2. Al ingresar al entorno del simulador, el menú principal que observará está compuesto de:

Donde al pulsar el **botón verde**



le permitirá verificar la respuesta ingresada en el cuadro blanco.

- 1.5. Es muy importante que al ingresar datos numéricos, según lo solicitado, **ingrese con dos cifras significativas después de punto decimal; haciendo uso del punto y no de la coma**, para que se genere la respectiva retroalimentación por la herramienta. Es importante que tenga presente las cifras significativas y su redondeo. Esto debe realizarse tanto para las concentraciones como los volúmenes.
- 1.6. Al realizar las lecturas de absorbancia en el espectrofotómetro de absorción atómica, **ingrese el rótulo o número del estándar, incluyendo el blanco**. Por ejemplo, P1 (que hace referencia al patrón o estándar 1); blanco, M1 (muestra 1). No importa si comienza la letra en mayúscula o minúscula, el simulador generará la respectiva retroalimentación.
- 1.7. El simulador no almacena los datos que junto a su equipo van obteniendo, recuerden apuntarlos.
- 1.8. Es aconsejable que si el simulador expresa que la respuesta no es correcta, revisen como equipo minuciosamente los cálculos o el razonamiento que están aplicando antes de avanzar; por otro lado, recuerden *delegar al rol correspondiente* para hacer consultas al profesor.
- 1.9. Al ingresar las condiciones estándar de absorción atómica de llama, según el manual Perkin Elmer visto en los materiales POGIL, recuerden escribirlas tal cual aparecen; para el caso de los gases que se sugieren emplear para la llama, escribirlos en inglés o

español, como se le facilite. **El simulador está configurado para realizar las lecturas de absorbancia a la primera longitud de onda analítica expuesta en el manual Perkin Elmer, solo para Cr, Zn y Cu.**

- 1.10. Los datos obtenidos a través de la experiencia simulada, le permitirán aplicar los conocimientos contruoidos, como equipo de trabajo, referentes a las curvas de calibración en la metodología estándar y de equiparación de matriz; así como el coeficiente de determinación R^2 , los parámetros de rango lineal, sensibilidad analítica, LOD, LOQ e intervalo útil de trabajo. Por supuesto, apoyado en la hoja de cálculo de Excel.

Preguntas claves – Key Questions

2. ¿Cómo deben ingresarse los valores numéricos en el simulador?
3. ¿Cómo deben ingresarse los estándares y las muestras para las lecturas de absorbancia en el espectrofotómetro de absorción atómica de llama?
4. ¿Para qué se utiliza el **botón verde**  del simulador?
5. ¿A qué longitud de onda analítica trabaja el simulador? ¿Para cuáles metales?

Modelo 2. Preparación de la matriz analítica y estándares de trabajo.

Hora de inicio:	
Hora de finalización:	

✚ **Reactivos analíticos para los estándares de trabajo y el agua residual sintética.**

✚ **Preparación de un agua residual sintética:** agua sintética de volumen de 50 mL que contiene las siguientes concentraciones de metales: Cu (32 mg/L); Zn (32 mg/L); y, Cr (26 mg/L)

✚ **Disolución spiked o matriz de “muestra”.**

✚ **Disolución anti-interferente de ionización.**

✚ **Manual Perkin Elmer:** Este manual recopila las condiciones estándar de absorción atómica para los metales que se analizan a través de la espectrofotometría de absorción atómica. Recuerden que se tomará como punto de partida para el desarrollo de las metodologías de calibración vistas.

Preguntas claves – Key Questions

6. Mirar en el simulador y mencionar cuales reactivos químicos se emplearán para el trabajo de laboratorio simulado.
7. Anexar los cálculos correspondientes para la elaboración del agua residual sintética, teniendo presente los reactivos mencionados en el punto 6.
8. Mirar en el simulador el volumen que se requiere para elaborar la disolución spiked o matriz de “muestra”, teniendo presentes los reactivos mencionados en el punto 6. Anexar los cálculos correspondientes para su elaboración.
9. Mirar en el simulador e indicar cuál es la disolución anti-interferente a emplear, así como su concentración.

Modelo 3. Metodología estándar para Cr, Cu y Zn.

Hora de inicio:	
Hora de finalización:	

Se tomará como base la primera longitud analítica para cada metal, haciendo uso de la characteristic concentration check (mg/L) para la realización de la disolución stock (80 veces dicho valor, según el metal correspondiente). A partir de esta, se realiza un patrón intermedio tomando 10 mL y llevando a 100 mL. A partir de esta última, se realizarán los estándares de calibración.

Preguntas claves – Key Questions

10. Anexar los cálculos en la elaboración de las disoluciones stock para cada metal.
11. Realicen los cálculos para elaborar cuatro patrones de trabajo, teniendo presente la characteristic concentration check –C.C.C.– (donde **C.C.C/n**; n: número de estándares a elaborar).
12. ¿Qué volúmenes se deben añadir a los estándares y a la muestra para que queden 0,1% m/V K según la concentración mencionada en el punto 9?
13. Anexar la captura de pantalla del simulador, cuando todo lo que se pregunta aparezca “Correcto”; de lo contrario revisen como equipo de trabajo sus acuerdos.

Consideren esto...

El simulador lo dejará avanzar a la lectura de absorbancia del metal de interés; sin embargo antes de proceder a esto, y si tienen respuestas incorrectas, verifiquen de nuevo antes de continuar.

Si la lectura del blanco es 0.000 unidades de absorbancia, no lo tengan presente para realizar la curva de calibración.

Recuerden que en los procesos de calibración de un espectrofotómetro, se emplea generalmente un blanco de reactivos; el cual contiene los solventes o sustancias empleadas para la elaboración de los estándares, sin el analito o mensurando de interés.

14. Realicen las lecturas de los estándares de calibración para cada uno de los metales.

15. Comprueben si las concentraciones que determinaron en el agua son las correctas; de lo contrario, revisen como equipo de trabajo sus acuerdos.

Modelo 4. Metodología equiparación de matriz solo para Cr.

Hora de inicio:

Hora de finalización:

Conociendo las concentraciones de los metales (mg/L) presentes en la muestra de agua residual, se puede realizar la equiparación de matriz; en este caso, se hará solo para la cuantificación de Cr.

16. Apoyados en el simulador, realicen los cálculos correspondientes para realizar la equiparación de matriz solo para Cr.

17. Anexar la captura de pantalla del simulador, cuando todo lo que se pregunta aparezca "Correcto"; de lo contrario revisen como equipo de trabajo sus acuerdos.

Aplicaciones

En un documento Excel, deben entregar:

18. Las curvas de calibración seleccionadas para cada método (con título, nombres a los ejes, ecuación de la recta, coeficiente de determinación, unidades de concentración).

19. Determinar desde las curvas de calibración seleccionadas el rango lineal, la sensibilidad analítica, el LOD, el LOQ y el rango útil de trabajo para cada método, con sus unidades de concentración; especificar cuáles de estos parámetros cambiaron o permanecieron igual en las metodologías. Adicionalmente, reportar las concentraciones de los metales determinadas en cada método.

20. Señalar sobre cada gráfico de la curva de calibración, el rango lineal, sensibilidad analítica, LOD, LOQ y rango útil de trabajo para cada método.

21. Anexar las imágenes así como los cálculos solicitados desde el modelo 2 hasta el 4.

22. ¿Qué aspectos le llamaron la atención del simulador?, ¿Qué sugerencia(s) brindaría(n) para mejorar la experiencia a través del simulador?, ¿Qué aspecto(s) metodológico(s) sugerirían mejorar en cuanto al desarrollo de esta guía de laboratorio simulado para que sea retomada por otros participantes?

Este laboratorio simulado fue elaborado tomando y adaptando algunos de los planteamientos y consideraciones abordados en:

✚ Casas, J. (2017). Casas, J. (2017). *Propuesta de laboratorio con nivel de apertura 2, investigación estructurada: Remoción Química y Biológica de Cr en Aguas Residuales: Un Estudio Comparado Empleando Espectrofotometría de Absorción Atómica*. Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá D.C.

Anexo 5. Roles POGIL y sus funciones.

La unión hace la fuerza...
cuando hay trabajo en
equipo y la colaboración,
las cosas maravillosas que
puede lograrse.

Mattie Stepanek

ROLES POGIL EN TU EQUIPO DE TRABAJO

La unión hace la fuerza...
cuando hay trabajo en
equipo y la colaboración,
las cosas maravillosas que
puede lograrse.

Mattie Stepanek

01

MANAGER



02

VOCERO



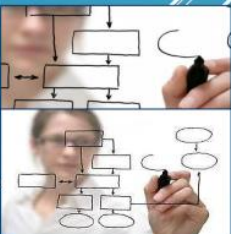
03

ANALISTA DE CALIDAD



04

ANALISTA DE PROCESOS



01 Manager

1. Distribuye los roles en el equipo. Nota: si hay 3 integrantes en el equipo un miembro asume el rol de manager y analista de procesos.

2. Asegúrese que el equipo tiene los materiales necesarios, comienza rápidamente, se mantiene concentrado durante toda la actividad. Buenas herramientas/frases para usar:

- Asignar tareas de recogida y distribución de materiales.
- Asignar funciones como calculadora o comprobador de cifras.
- "Creo que tenemos todo, ¿estamos listos para empezar?"

3. Cuide la gestión del tiempo. Buenas herramientas/frases para usar:

- No perder de vista el reloj.
- Mantener el avance del grupo.
- Comuníquese con el grupo sobre los plazos de la discusión.
- "Creo que tenemos que centrarnos en ____ ahora para completar esta sección de la actividad a tiempo".
- "Tenemos ____ minutos antes de que tengamos que estar listos para discutir esta sección. Hagamos esto".

4. Asegúrese de que se escuchan todas las voces del grupo. Buenas herramientas/frases para usar:

- Dirigirse a los miembros del grupo por su nombre.
- Asegúrese de que todos los miembros del grupo contribuyan.
- Asigne a diferentes miembros la lectura de las secciones de la actividad de forma rotativa.
- "(Nombre), ¿qué piensas de?"
- "Me gustaría escuchar lo que piensas, (Nombre)".

Participa activamente
Mantiene el equipo en la
tarea.



Fuente: <https://n9.cl/6kiz2>

Un líder es alguien que conoce el camino, recorre el camino y muestra el camino.
John Maxwell.

Your mission

Distribuye el trabajo y asigna las responsabilidades.
Resuelve conflictos.



Fuente: <https://n9.cl/6kiz2>



Fuente: <https://n9.cl/tgpo>

Un vocero es aquel que informa lo que su equipo ha recorrido, visto y conocido.

Anónimo.

Your mission



Fuente: <https://n9.cl/kxh9e>

02 Vocero

1. Comunica las preguntas y aclaraciones del grupo al profesor o a otros grupos. (Es el único miembro del grupo designado para hacerlo). Buenas herramientas/frases para usar:

- "Nuestro grupo está confundido sobre cómo se relaciona ____ con ____".
- "Nuestro grupo llegó al consenso de que la respuesta al número ____ era ____".

2. Se asegura de que todos los miembros del grupo hayan tenido la oportunidad de responder a la pregunta antes de preguntar a fuentes externas. Buenas herramientas/frases para usar:

- "¿Alguno de nuestro equipo sabe la respuesta a ____?"
- "Antes de preguntar al profesor, ¿podría alguno de nuestro equipo aclarar la respuesta a ____?"

3. Se asegura de que todos los miembros del equipo estén de acuerdo en la pregunta que se debe hacer si se necesita una fuente externa. Buenas herramientas/frases para usar:

- "¿Están todos de acuerdo en que tenemos que averiguar...?"

4. Presenta las conclusiones del grupo a la clase, según se le solicite. Buenas herramientas/frases para usar:

- "El razonamiento que utilizamos para responder al número ____ fue..."

03 Analista de calidad

1. **Es el único que entrega las actividades asignadas a nombre del equipo.**
2. **Diligencia el nombre del equipo, los nombres y roles de cada miembro, así como la hora de inicio y finalización de la actividad.**
3. **Anota las respuestas consensuadas del equipo a las diferentes preguntas.**
4. **Guía el proceso de creación de consenso; el equipo debe estar de acuerdo con las respuestas a las preguntas. Buenas herramientas/frases para usar:**

- "¿Están todos de acuerdo en que ____ es una respuesta aceptable para la pregunta número ____?"
- "¿Podría repetir lo que acaba de decir?"
- "¿Está su contestación/respuesta completamente apoyada por su explicación/cálculo?"
- "¿Tendría sentido esa respuesta para alguien de otro grupo?"

5. Verifica que TODAS las respuestas individuales sean: 1) coherentes en el papel, 2) reflejen el consenso del grupo, y 3) son de alta calidad. Buenas herramientas/frases para usar:

- - Mira las respuestas de los trabajos individuales (¡muestra!).
- ¿Han mostrado todos los miembros del equipo el trabajo sobre los problemas cuantitativos?
- ¿Las respuestas de todos los miembros del equipo tienen pensamientos o explicaciones completas?

6. Asegura que se realicen revisiones exactas después de las discusiones en clase. Buenas herramientas/frases para usar:

- - ¿Pueden todos los miembros del grupo responder correctamente a una pregunta sobre lo aprendido?
- "(Nombre) cuando lees la respuesta de (nombre), ¿ves alguna diferencia?"



Fuente: <https://n9.cl/zzkk0>

La calidad nunca es un accidente; siempre es el resultado de un esfuerzo de la inteligencia.

John Ruskin.

Your mission

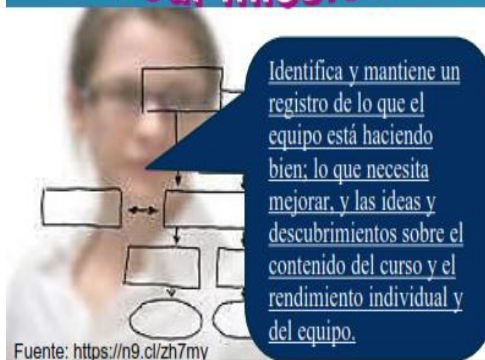


Fuente: <https://n9.cl/tb1h>



De nuestras vulnerabilidades vienen nuestras fortalezas.
Sigmund Freud.

Your mission



04 Analista de procesos

1. Observa la dinámica y el comportamiento del equipo con respecto al proceso de aprendizaje, utilizando el formato de informe correspondiente. Buenas herramientas/frases para usar:

- Motiva a los miembros del equipo.
- ¿Cada miembro del equipo está participando?
- ¿Los miembros del equipo se escuchan con atención uno al otro?
- ¿Están los miembros del equipo siendo pacientes y respetuosos uno con el otro?
- Diligencia el reporte que debe ser entregado con la actividad.

2. Informa periódicamente al equipo durante la actividad su rendimiento. Buenas herramientas/frases para usar:

- "Vamos a parar un momento. Tengo un par de comentarios sobre lo que estamos haciendo bien y una sugerencia sobre cómo podríamos ser más productivos."
- "Esperemos a que (nombre) se ponga al día antes de seguir adelante".

3. Estar preparado para informar a toda la clase sobre el buen funcionamiento del grupo.

Anexo 6. Formulario de Informe del Analista de Procesos.

Formulario de Informe del Analista de Procesos

Process Analyst's Report Form

 Nombre de la actividad	
 Nombre del equipo	
 Nombre del Analista de procesos	
 Hora de inicio	
 Hora de finalización	

Procesamiento de la información		Evaluar, interpretar y manipular o transformar la información.				
Categoría	0	1	2	3	4	5
(A) Evaluar		Determinó minimamente la importancia o relevancia de la información/datos necesarios para la tarea		Determinó parcialmente la importancia o relevancia de la información/datos necesarios para la tarea		Determinó completamente la importancia o relevancia de la información/datos necesarios para la tarea
(B) Interpretar		Proporcionó incorrectamente el significado de los datos, hizo inferencias y predicciones a partir de los datos, o extrajo patrones de los datos		Proporcionó el significado de los datos, hizo inferencias y predicciones a partir de los datos, o extrajo patrones de los datos con algunos errores		Proporcionó correctamente el significado de los datos, hizo inferencias y predicciones a partir de los datos, o ha extraído patrones de los datos
(C) Manipular o Transformar (Extender)		Convirtió minimamente la información/datos de una forma a otra		Convirtió parcialmente la información/datos de una forma a otra		Convirtió completamente la información/datos de una forma a otra
(D) Manipular o Transformar (Exactitud)		Convirtió incorrectamente la información/datos de una forma a otra		Convirtió la información/datos de una forma a otra con algunos errores		Convirtió correctamente la información/datos de una forma a otra

Figura 1. Rúbrica Process skill: Information Processing.

Fuente: Tomado y adaptado de ELIPSS (2017).

- De acuerdo a la rúbrica de la Figura 1, evalué de acuerdo a la misión de su rol y, en común acuerdo con su equipo, cada una de las categorías de la rúbrica frente a la actividad realizada como equipo de trabajo (0 indica que no hubo evidencia; 2 y 4 son valores intermedios).

Letra de la categoría	Valoración asignada	Justifique el valor dado.
A		
B		
C		
D		
¿Cuál(es) categoría(s) consideran que desempeñaron mejor en el equipo? Justifique su respuesta.		

¿Cuál(es) categoría(es) consideran que no desempeñaron de la mejor forma en el equipo? ¿De qué forma podrían mejorarlas? Justifique brevemente su respuesta.	
--	--

2. Evalúa, en común acuerdo, el trabajo realizado como equipo, teniendo presente los siguientes indicadores:

Ítem	Valor (entre 0.0 y 5.0)	Justificación; formas de mejorar
Se realizó la actividad en el tiempo propuesto.		
Todos los integrantes del equipo participaron completamente.		
Todos los integrantes del equipo cumplieron con la misión según el rol asignado.		
Se ayudaron entre los miembros del equipo.		
Cada integrante contribuyó al desarrollo de la actividad, aportando ideas.		
Todos se dieron explicaciones claras unos a otros.		
Todos hicieron preguntas cuando no entendían algo.		
Promedio de los ítems		

3. ¿Cómo les pareció la actividad?, ¿Qué aspectos sugieren mejorar de la misma?

Anexo 7. Formato de validación de las actividades POGIL.

Formato de validación de las actividades POGIL.

Agradecemos su amable colaboración en la validación del instrumento/actividad titulado: Calibración Instrumental en Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama: Método estándar, desarrollado en el marco de una investigación cuyo objetivo principal es la *evaluación en el fortalecimiento de una habilidad de proceso, concerniente al procesamiento de la información, al implementar actividades basadas en el método POGIL para la enseñanza el método de calibración estándar y equiparación de matriz en Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama, articulando un proceso de remoción de Cr con virutas del Wet blue en un grupo de estudiantes universitarios.*

Con respecto a la habilidad de "procesamiento de información" se busca analizar el fortalecimiento de la misma desde la evaluación, manipulación y transformación de la información; esto, con participantes que se encuentran adscritos a uno de los espacios académicos de una Universidad.

Dado lo anterior, le solicitamos que por favor revise detalladamente la actividad; posteriormente, desde las categorías e indicadores que se muestran a continuación evalúe la misma. Sus valiosos comentarios, sugerencias y/o recomendaciones contribuirán a la mejora del instrumento; de nuevo muchas gracias.

Estos son los significados de las puntuaciones:

0 = No hay pruebas explícitas respecto a este indicador.

1 = Hay algunas evidencias de que se ha cumplido este indicador, pero se necesita una mejora significativa.

2 = Evidencia satisfactoria del cumplimiento de este indicador, pero algunas modificaciones mejorarían sustancialmente la actividad.

3 = Evidencia sustancial o ejemplar del cumplimiento de este objetivo. No se requieren modificaciones.

Objetivo general de la investigación	
Categorías de análisis y rúbrica de evaluación de la habilidad "Procesamiento de la información"	

Categoría	Indicadores	Puntuaciones				Comentarios, sugerencias y/o recomendaciones para mejorar la actividad según la categoría evaluada
		0	1	2	3	

Objetivos de aprendizaje de contenido y Objetivos de aprendizaje de proceso.	No más de tres objetivos de aprendizaje, tanto de contenido como de proceso, se exponen con claridad y se redactan adecuadamente en la actividad.				
	Es probable que la actividad lleve a los alumnos a alcanzar los objetivos de aprendizaje, tanto de contenido como de proceso, formulados en la actividad.				
	Las preguntas de la actividad permiten evaluar el logro de los objetivos de aprendizaje, tanto de contenido como de proceso, por parte de los alumnos.				
	La actividad se centra en al menos una y no más de dos habilidades de proceso que se exponen claramente y se redactan de forma adecuada en la actividad.				
	Los objetivos de la(s) habilidad(es) de proceso son apropiados para la actividad y el nivel del curso.				
Exactitud del contenido y desarrollo de habilidad(es) de proceso.	Los modelos y las preguntas conducen a los alumnos a una comprensión precisa de los contenidos.				
	Los modelos y las preguntas ayudan a los alumnos a evitar o afrontar explícitamente conceptos erróneos comunes.				
	Las preguntas o indicaciones múltiples están diseñadas para desarrollar habilidad(es) de proceso específica(s).				
	Es probable que la actividad promueva el desarrollo de la(s) habilidad(es) de proceso mencionada en la actividad.				
	Se pide a los alumnos que evalúen lo que han aprendido en términos de contenido y de la habilidad de procesos.				

Estructura del ciclo de aprendizaje y de la actividad.	Cada modelo se presenta con claridad y es un conjunto adecuado de datos o ejemplos que proporciona suficiente evidencia o información para lograr objetivos, tanto de contenido como de proceso, previstos.					
	Las preguntas claves requieren que los estudiantes se involucren con el modelo; están secuenciadas para conducir el desarrollo de conceptos y alcanzar los objetivos de aprendizaje, tanto de contenido como de proceso, previstos.					
	La sección de <i>Aplicaciones</i> está presente en la actividad y amplía las ideas de manera significativa y lógica.					
Diversidad, integración y estructura cooperativa.	Los modelos promueven la inclusión eligiendo un lenguaje (por ejemplo, nombres) y unos gráficos que sean apropiados para el público y accesibles para diversas poblaciones de estudiantes.					
	Las preguntas y los consejos titulados " <i>consideren esto</i> " dan instrucciones explícitas a los alumnos para que trabajen de forma cooperativa.					
	La estructura de la actividad probablemente promueve la participación de todos los estudiantes.					
Claridad y fluidez.	Las preguntas están formuladas con claridad y es probable que obtengan la respuesta deseada de los alumnos.					
	La secuencia de preguntas fluye de forma lógica y evita saltos conceptuales, repeticiones innecesarias o contenidos no relacionados con los objetivos de aprendizaje, tanto de contenido como de proceso.					

Comentarios adicionales:

Firma:				
Validación realizada por:				
Último título académico/cargo:				
Correo electrónico:				

**Anexo 8. Formato de validación de la prueba de conocimientos/evaluación de la habilidad
Procesamiento de Información -antes y después de la implementación-**

Formato de validación de la prueba de conocimientos/evaluación de la habilidad Procesamiento de Información -antes y después de la implementación- Agradecemos su amable colaboración en la validación del instrumento/actividad titulado: <i>Calibración Instrumental en Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama: Método estándar, desarrollado en el marco de una investigación cuyo objetivo principal es la evaluación en el fortalecimiento de una habilidad de proceso, concerniente al procesamiento de la información, al implementar actividades basadas en el método POGIL para la enseñanza el método de calibración estándar y equiparación de matriz en Espectrofotometría de Absorción Atómica de Llama, articulando un proceso de remoción de Cr con virutas del Wet blue en un grupo de estudiantes universitarios.</i> Con respecto a la habilidad de "procesamiento de información" se busca analizar el fortalecimiento de la misma desde la evaluación, manipulación y transformación de la información; esto, con participantes que se encuentran adscritos a uno de los espacios académicos de una Universidad. Dado lo anterior, le solicitamos que por favor revise detalladamente la actividad; posteriormente, desde las categorías e indicadores que se muestran a continuación evalúe la misma. Sus valiosos comentarios, sugerencias y/o recomendaciones contribuirán a la mejora del instrumento; de nuevo muchas gracias. Estos son los significados de las puntuaciones: 0 = No hay pruebas explícitas respecto a este indicador. 1 = Hay algunas evidencias de que se ha cumplido este indicador, pero se necesita una mejora significativa. 2 = Evidencia satisfactoria del cumplimiento de este indicador, pero algunas modificaciones mejorarían sustancialmente la actividad. 3 = Evidencia sustancial o ejemplar del cumplimiento de este objetivo. No se requieren modificaciones.				
Objetivo general de la investigación				
Categorías de análisis y rúbrica de evaluación de la habilidad "Procesamiento de la información"				

Categoría	Indicadores	Puntuaciones				Comentarios, sugerencias y/o recomendaciones para mejorar la actividad según la categoría evaluada
		0	1	2	3	

Planificación del instrumento	El instrumento podría dar cuenta del estado antes y después con respecto al desarrollo y/o fortalecimiento de los aspectos conceptuales y la(s) habilidad(es) de proceso que son de particular interés para el investigador, según el objetivo de su investigación y los participantes hacia los que va dirigida la misma.					
	Las preguntas o situaciones están formuladas de tal forma que contribuyen a cumplir el o los objetivos del investigador.					
Construcción del instrumento: contextualización de ítems y/o preguntas; diseño gráfico	Los ítems presentados en el instrumentos están contextualizados, plantean problemas y/o situaciones reales; se consideran recursos para orientar la respuesta (gráficos, materiales, verbales, entre otros).					
	Los enunciados y preguntas formuladas en el instrumento presentan las instrucciones claras para su diligenciamiento, según la respuesta que se espera; estas, estructuradas con un lenguaje apropiado y entendible para los participantes hacia los que va dirigida.					
	Los enunciados y preguntas formuladas en el instrumento gozan de consistencia interna, coherencia, cohesión e hilo conductor. Asimismo, considera en su estructuración: presentación formal, letra clara, uso apropiado de las figuras, tablas, etc.					
Redacción, claridad, orientación y secuenciación	Se presenta claridad en la redacción, así como coherencia interna; teniendo presente los participantes al que va dirigido el instrumento.					
	Las preguntas se formulan con un tono neutro.					

	Todos los acrónimos son definidos.					
	El uso del lenguaje técnico es mínimo y apropiado.					
	Las instrucciones en el instrumento son claras para su total y adecuado diligenciamiento por parte de los participantes, y conserva una secuencia lógica.					
Categoría de la habilidad de Procesamiento de la información: <i>Evaluar información.</i>	Se formularon algunas preguntas o situaciones en el instrumento que permiten analizar la categoría de: Evaluar información, según la habilidad de proceso mencionada y que es de interés del investigador.					
Categoría de la habilidad de Procesamiento de la información: <i>Manipular información.</i>	Se formularon algunas preguntas o situaciones en el instrumento que permiten analizar la categoría de: Manipular información, según la habilidad de proceso mencionada y que es de interés del investigador.					
Categoría de la habilidad de Procesamiento de la información: <i>Transformar información.</i>	Se formularon algunas preguntas o situaciones en el instrumento que permiten analizar la categoría de: Transformar información, según la habilidad de proceso mencionada y que es de interés del investigador.					
Comentarios adicionales:						

Método mínimos cuadrados: método estándar Cu

Concentración mg Cu / L	Absorbancia (Yi)	X_i^2	Y_i^2	$X_i \cdot Y_i$
1	0,050	1,00	0,003	0,050
2	0,091	4,00	0,008	0,183
3	0,136	9,00	0,018	0,408
4	0,178	16,00	0,032	0,713
10,00	0,456	30,00	0,061	1,354
SUMATORIAS				
N	4			
D	5			
E	0,009			
Pendiente B	0,0430			
Intercepto A	0,0065			
t 95%	3,182			
s	7,86E-04			
b	1,119E-03			
a	3,065E-03			

$$s = \sqrt{(E - B^2 \cdot D) / (N - 2)}$$

$$b = \pm t \cdot s / \sqrt{D}$$

$$a = \pm t \cdot s \cdot \sqrt{\sum X^2 / ND}$$

$$Y = (A \pm a) + (B \pm b)X$$

Función estimación lineal		
b	4,3E-02	a
Sb	4,3E-04	Sa
R2	1,0E+00	Sy/x
F	9,9E+03	df
SCReg	9,2E-03	SCRes

A = (0,0065 ± 3,065E-03) + (0,0430 ± 3,065E-3)*C

Método mínimos cuadrados: método estándar Zn

Concentración mg Zn / L	Absorbancia (Yi)	X_i^2	Y_i^2	$X_i \cdot Y_i$
0,25	0,087	0,06	0,008	0,022
0,50	0,135	0,25	0,018	0,068
0,77	0,186	0,59	0,035	0,143
1,00	0,234	1,00	0,055	0,234
2,52	0,642	1,91	0,115	0,466
SUMATORIAS				
N	4			
D	0,3178			
E	0,012			
Pendiente	B	0,1951		
Intercepto	A	0,0376		
	t 95%	3,182		
	s	1,35E-03		
	b	7,601E-03		
	a	5,246E-03		
		$Y = (A \pm a) + (B \pm b)X$		
		$A = (0,0376 \pm 5,246E-03) + (0,1951 \pm 7,601E-3)^{\circ}C$		

Función estimación lineal		
b	1,95E-01	a
Sb	2,93E-03	Sa
R2	1,00E+00	Sy/x
F	4,45E+03	df
SCReg	1,21E-02	SCREs
	5,44E-06	

Método mínimos cuadrados: método estándar Cr

Concentración mg Zn / L	Absorbancia (Yi)	X_i^2	Y_i^2	$X_i \cdot Y_i$
1,00	0,047	1,00	0,002	0,047
2,00	0,089	4,00	0,008	0,178
3,00	0,125	9,00	0,016	0,375
4,00	0,165	16,00	0,027	0,660
10,00	0,426	30,00	0,053	1,260

SUMATORIAS

N	4
D	5
E	0,008
Pendiente B	0,0390
Intercepto A	0,0090
t 95%	3,182
s	1,41E-03
b	2,012E-03
a	5,511E-03

$$s = \sqrt{(E - B^2 \cdot D) / (N - 2)}$$

$$b = \pm t \cdot s / \sqrt{D}$$

$$a = \pm t \cdot s \cdot \sqrt{\sum X^2 / ND}$$

$$Y = (A \pm a) + (B \pm b)X$$

$$A = (0,0090 \pm 5,511E-03) + (0,0390 \pm 2,012E-3)^{\circ}C$$

Función estimación lineal	
b	3,90E-02
Sb	7,75E-04
R2	9,99E-01
F	2,54E+03
SCReg	7,61E-03

a	9,00E-03
Sa	2,12E-03
Sy/x	1,73E-03
df	2,00E+00
SCREs	6,00E-06

Método mínimos cuadrados: método EM Cr

Concentración mgCr/L	Absorbancia (Yi)	X_i^2	Y_i^2	$X_i \cdot Y_i$
1,00	0,046	1,00	0,002	0,046
2,00	0,095	4,00	0,009	0,190
3,00	0,140	9,00	0,020	0,420
4,00	0,184	16,00	0,034	0,736
10,00	0,465	30,00	0,065	1,392

SUMATORIAS

N	4
D	5
E	0,011
Pendiente B	0,0459
Intercepto A	0,0015
t 95%	3,182
s	1,49E-03
b	2,127E-03
a	5,824E-03

$$s = \sqrt{(E - B^2 \cdot D) / (N - 2)}$$

$$b = \pm t \cdot s / \sqrt{D}$$

$$a = \pm t \cdot s \cdot \sqrt{\sum X^2 / ND}$$

$$Y = (A \pm a) + (B \pm b)X$$

$$A = (0,0015 \pm 5,824E-03) + (0,0459 \pm 2,127E-3)^{\circ}C$$

Función estimación lineal	
b	4,59E-02
Sb	8,19E-04
R2	9,99E-01
F	3,14E+03
SCReg	1,05E-02

a	1,50E-03
Sa	2,24E-03
Sy/x	1,83E-03
df	2,00E+00
SCREs	6,70E-06

Anexo 10. Presentación de los productos investigativos encontrados y seleccionados con relación a la bioadsorción de Cr empleando las virutas del Wet Blue –sin y con modificación fisicoquímica-.

Tabla 20. Presentación de los productos investigativos encontrados y seleccionados con relación a la bioadsorción de Cr empleando las virutas del Wet Blue –sin y con modificación fisicoquímica-.

Año	Referencia/ convención	Tipo de producto investigativo	Revista	País	Autores	Título del artículo	Palabras claves
2008	Oliveira <i>et al.</i> (2008) -a-	Artículo	Journal of Hazardous Materials	Brasil	Diana Q.L. Oliveira, Maraísa Goncalves, Luiz C.A. Oliveira, Luiz R.G. Guilherme	Removal of As(V) and Cr(VI) from aqueous solutions using solid waste from leather industry	Leather waste; Adsorption; Arsenic; Chromium
2010	Kantarli y Yanik (2010) -b-	Artículo	Journal of Hazardous Materials	Turquia	Ismail Cem Kantarli, Jale Yanik	Activated carbon from leather shaving wastes and its application in removal of toxic materials	Leather waste; activated carbon; adsorption
2011a	Xu y Hao (2011a) -c-	Artículo	2011 International Symposium on Water Resource and Environmental Protection	China	Wei Xu, Lifen Hao	The Feasibility of Chrome Shaving to Remove Cr (III) from Aqueous Solutions	Leather waste; adsorption; Cr(III)
2011b	Xu y Hao (2011b) -d-	Artículo	2011 International Symposium on Water Resource and Environmental Protection	China	Wei Xu, Lifen Hao	Detoxification of Chrome Shaving and Its Use as an Adsorbent of Cr (III) from Aqueous Solutions	Leather waste; detoxification; adsorption; chromium (III)
2011	Chabaane <i>et al.</i> (2011) -e-	Artículo	Chemical Engineering Journal	Moroco/ España	L. Chabaane, S. Tahiri, A. Albizane, M. El Krati, M.L. Cervera, M. de la Guardia	Immobilization of vegetable tannins on tannery chrome shavings and their use for the removal of hexavalent chromium from contaminated water	Immobilization, Tannins Chrome shavings, Hexavalent chromium, Adsorption

Año	Referencia/ convención	Tipo de producto investigativo	Revista	País	Autores	Título del artículo	Palabras claves
2011	Onenc <i>et al.</i> (2011) -f-	Artículo	Journal of Residuals Science & Technology	Turquia	Sermin Onenc, Ozge Kilinccli, Ismail Cem Kantarli, Onur Yilmaz, Jale Yanik	Use of Solid Wastes from the Leather Industry as an Adsorbent	N.E.
2012	Hyoung-Uk <i>et al.</i> (2012) -g-	Artículo	Desalination and Water Treatment	Corea	Hyoung-Uk Kim ,Keun-Han Kim , Yoon-Young Chang, Seung Mok Lee , Jae-Kyu Yang	Heavy metal removal from aqueous solution by tannins immobilized on collagen	Adsorption; Collagen; Heavy metal; Leather waste; Recycle; Tannin
2015	Ramos- Bonilla (2015) -h-	Trabajo de Pregrado	Repositorio de la Universidad de las Américas	Ecuador	Andrés Gerardo Ramos Bonilla	DISEÑO DE UN FILTRO EN BASE AL REBAJADO DEL WET BLUE (CUERO CURTIDO) PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES PROVENIENTES DE LOS EFLUENTES DE LA CURTIEMBRE CETICUERO	N.A.
2017	Louarrat <i>et al.</i> (2017) -i-	Artículo	American Journal of Physical Chemistry	Moroco / Cameroon	Mehdi Louarrat, Abdoul Ntieche Rahman, Abdelaziz Bacaoui, Abdelrani Yaacoubi	Removal of Chromium Cr(VI) of Tanning Effluent with Activated Carbon from Tannery Solid Wastes	Leather Shaving, Tannery, Activated Carbon, Adsorption, Chrome

**N.A. No aplica

Fuente: Autor.

Anexo 11. Árboles de palabras frente a los nodos (ítems/preguntas/modelos) analizados en los instrumentos/actividades.

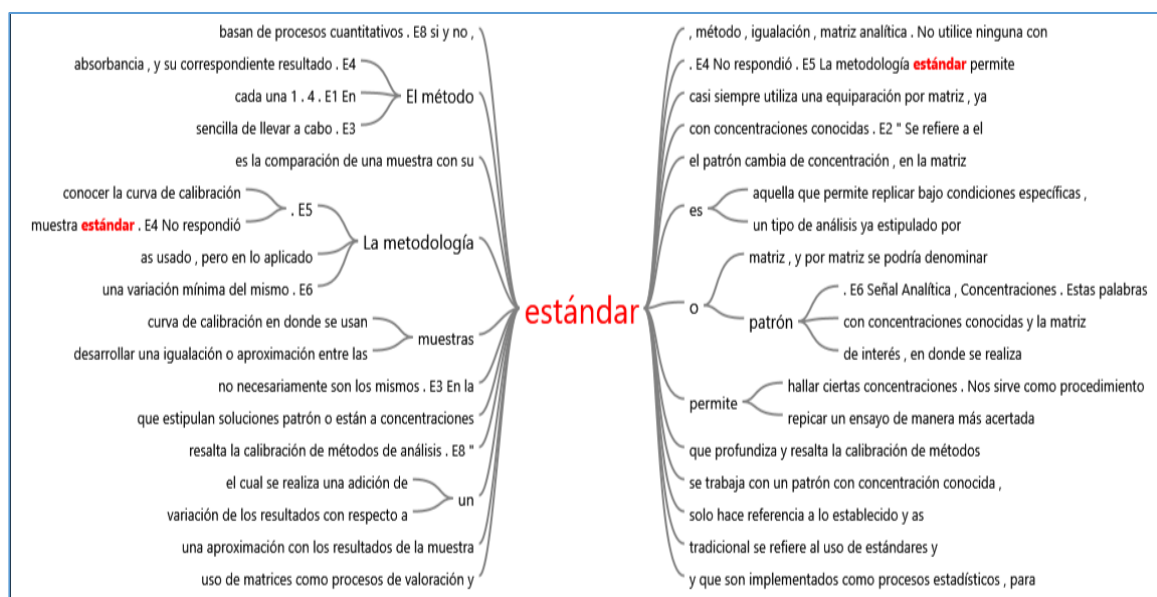


Figura 46. Árbol de palabras para el ítem 1.1 en cuanto algunas respuestas dadas por los E para el método estándar antes de la implementación de la PE.

Fuente: elaborado con NVivo 12 Plus.

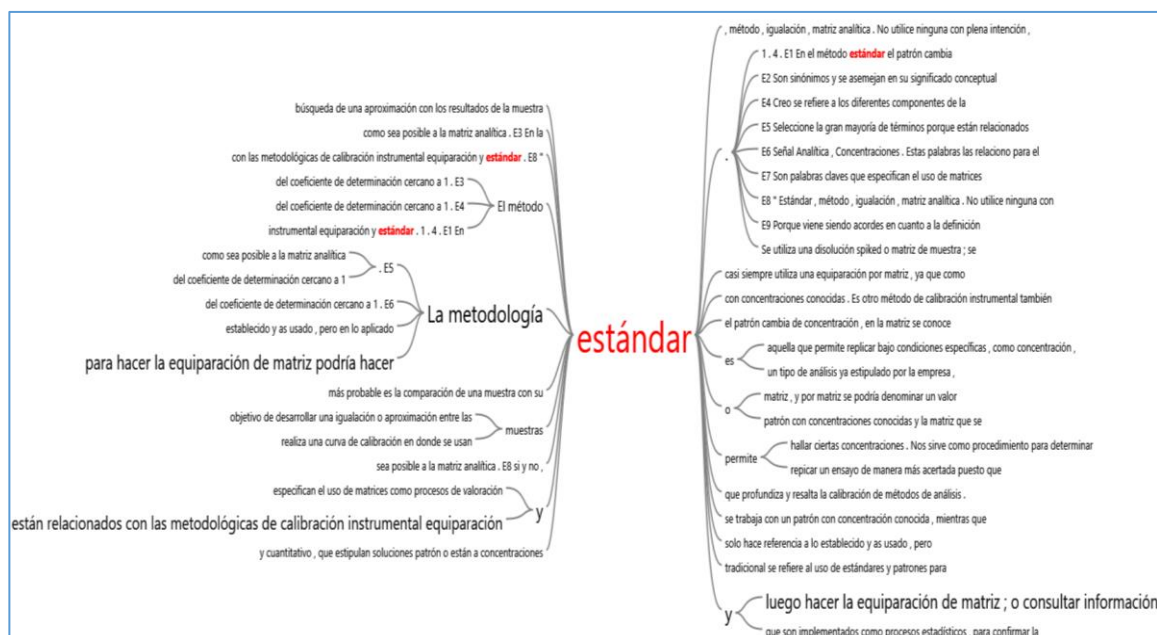


Figura 47. Árbol de palabras para el ítem 1.1 en cuanto algunas respuestas dadas por los E para el método estándar después de la implementación de la PE.

Fuente: elaborado con NVivo 12 Plus.

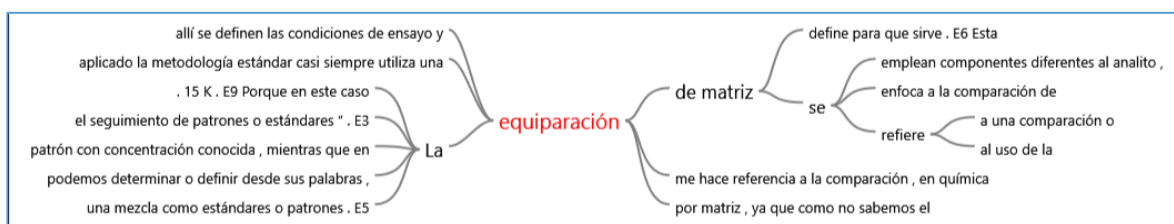


Figura 48. Árbol de palabras para el ítem 1.1 en cuanto algunas respuestas dadas por los E para el método EM antes de la implementación de la PE.

Fuente: elaborado con NVivo 12 Plus.

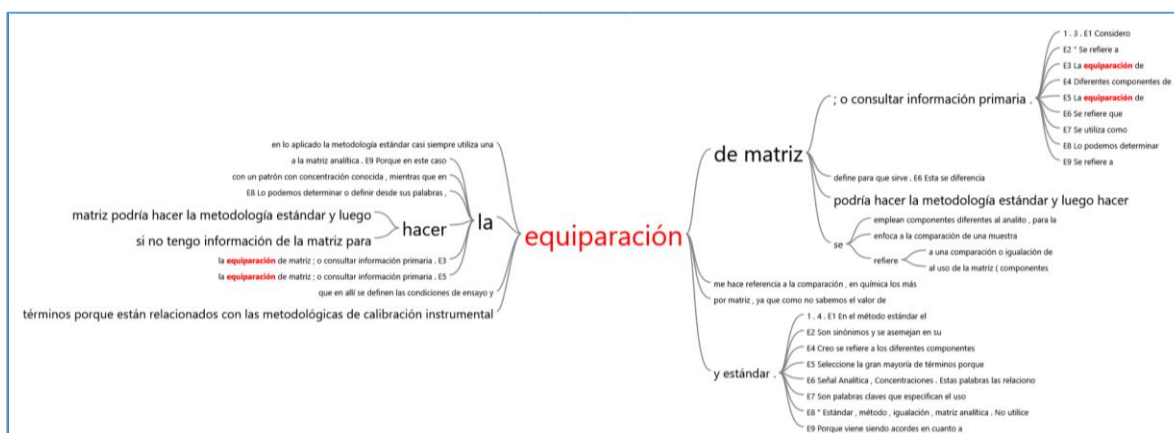


Figura 49. Árbol de palabras para el ítem 1.1 en cuanto algunas respuestas dadas por los E para el método EM después de la implementación de la PE.

Fuente: elaborado con Nvivo 12 Plus.

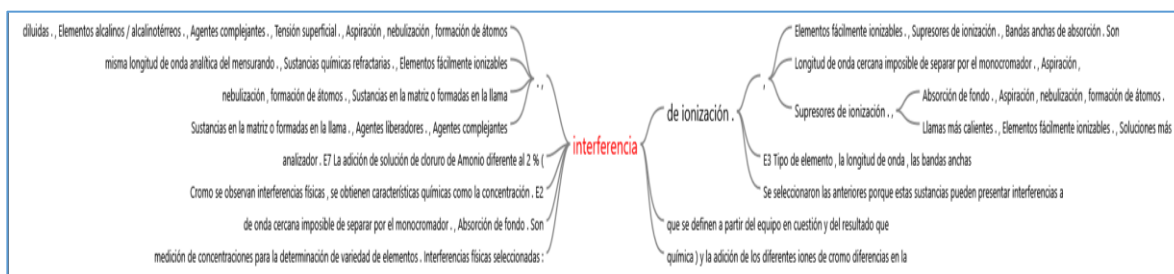


Figura 50. Nube de palabras frente a las respuestas dadas por los E después de la implementación de PE en los ítems 3.1 a 3.2 del instrumento inicial.

Fuente: elaborado con NVivo 12 Plus.

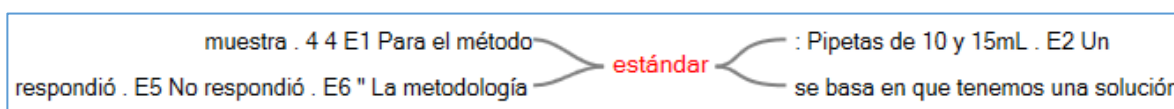


Figura 51. Arbol de palabras frente a las respuestas dadas por los E antes de la implementación de PE en el ítem 4 del instrumento inicial.

Fuente: elaborado con NVivo 12 Plus.

