

**EL EQUILIBRIO QUÍMICO ÁCIDO-BASE ABORDADO DESDE LAS
REPRESENTACIONES EXTERNAS PICTÓRICAS COMO PROBLEMA DE
APRENDIZAJE EN LA QUÍMICA**

SERGIO ESTEBAN GONZÁLEZ LÓPEZ

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

LICENCIATURA EN QUÍMICA

2024

**EL EQUILIBRIO QUÍMICO ÁCIDO-BASE ABORDADO DESDE LAS
REPRESENTACIONES EXTERNAS PICTÓRICAS COMO PROBLEMA DE
APRENDIZAJE EN LA QUÍMICA**

SERGIO ESTEBAN GONZÁLEZ LÓPEZ

CODIGO: 2018215034

Trabajo de grado para optar al título de Licenciado en Química

**Director. MSc. Diego Alexander Blanco Martínez.
Grupo Didáctica y sus ciencias. Línea Interdisciplinariedad y química en
contexto: una perspectiva experimental en la didáctica de la química.**

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

LICENCIATURA EN QUÍMICA

2024

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a la Universidad Pedagógica Nacional por abrirme sus puertas en todo este proceso de formación y mostrarme el camino para llegar a ser un excelente docente. Agradezco desde el fondo de mi corazón al profesor Diego Blanco por su paciencia, dedicación y amistad durante este proceso, ya que me enseñó cual es el significado del profesionalismo y excelencia en la educación. Agradezco a la profesora Deisy Baracaldo por su compañía, consejos, palabras de aliento, por hacer del último tramo de esta experiencia una felicidad absoluta y por mostrarme que el aula de clase es también un lugar para divertirse. Finalmente agradezco a la profesora Martha Novoa y profesor Fabio Cajamarca por su evaluación en este proyecto.

Agradezco a mis padres y mis hermanos por siempre estar incondicionalmente confiando en lo que puedo llegar a conseguir y por el amor incalculable que recibo día a día. A Santiago Briceño y Cristian Barreto por su lealtad y por mostrarme como una pequeña amistad se puede convertir en una hermandad. A Leo por su compañía tan reconfortante y honestidad en cada etapa que pasamos juntos. A Geraldine, Valentina, Fernanda por la paciencia, estar en los mejores momentos y apoyar en los peores. A María Camila por aparecer en mi vida, convertirse en una persona muy especial y brindarme una amistad tan incondicional. A Valen por ser una de las luces más bonitas que he conocido y que me ha enseñado lo que es el cariño, la confianza y la complicidad. A Natalia, Daniel y Lorena por haber estado desde el comienzo y seguir hasta el día de hoy de forma incondicional enseñándome el verdadero significado de una amistad. A Juan Diego, Sara, Natalia, Laura por su compañía y consejos durante el último año.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. JUSTIFICACIÓN.....	3
2. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	6
3. FORMULACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	9
4. OBJETIVOS	12
4.1. Objetivo General	12
4.2. Objetivos Específicos	12
5. REFERENTES CONCEPTUALES.....	13
5.1. Alineamiento constructivo	13
5.2. Modelo Pronóstico-Proceso-Producto	15
5.3. Representaciones externas pictóricas	16
5.4. Equilibrio químico ácido-base	18
5.4.1. Método sistemático	19
5.4.2. Diagramas logarítmicos de concentración efectiva molar.....	20
6. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	21
6.1. Participantes	21
6.2. Fases de la investigación.....	22
6.2.1. Fase 1: Levantamiento de los referentes teóricos.....	22
6.2.2. Fase 2: Desarrollo de la secuencia didáctica.....	22
6.2.3. Fase 3: Evaluación de actividades	27
6.2.4. Fase 4: Evaluación de las representaciones	30
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS	33
7.1. Identificación de referentes conceptuales	33
7.2. Desarrollo de la secuencia didáctica	36
7.2.1. Etapa pronóstico.....	37
7.2.2. Etapa proceso	42
7.2.3. Etapa producto	43
8. CONCLUSIONES	56
9. REFERENCIAS	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Evidencias de aprendizaje desde la perspectiva de los estudiantes.	14
Tabla 2. Evidencias de enseñanza desde la perspectiva de los profesores.....	14
Tabla 3. Criterios para la planificación y caracterización de actividades.....	24
Tabla 4. Etapas de la secuencia didáctica según el modelo 3P.	25
Tabla 5. Rubrica evaluativa para la actividad #2 según los niveles de la taxonomía SOLO	29
Tabla 6. Elementos para evaluar el nivel de representación en la química.....	31
Tabla 7. Principales referentes conceptuales identificados para el diseño, elaboración e intervención de la secuencia didáctica.	34
Tabla 8. Niveles de representación en química para el informe de laboratorio.	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. El modelo de aprendizaje 3P de J. Biggs	16
Figura 2. Representaciones de la molécula de metano.	17
Figura 3. Diagrama pH-Log _c con las líneas H ⁺ /H ₂ O, OH ⁻ / H ₂ O, HA/ H ₂ O y A ⁻ / H ₂ O para una solución de ácido acético C [°] _{HA} =0,01 mol L ⁻¹ y pK _a (HA/ H ₂ O)= 4,75.....	20
Figura 4. Construcción de una secuencia de actividades con el modelo 3P	23
Figura 5. Niveles de la Taxonomía SOLO	28
Figura 6. Los tres niveles de representación en la química (Johnstone, 1991)	30
Figura 7. Modelo 3P aplicado a la secuencia didáctica para la enseñanza del equilibrio químico ácido-base.	36
Figura 8. Taxonomía SOLO aplicada a la secuencia didáctica para la enseñanza del equilibrio químico ácido-base.....	37
Figura 9. Consolidad de las afirmaciones sobre el interés en la temática por parte de los profesores en formación.	38
Figura 10. Consolidado de las afirmaciones sobre los fundamentos conceptuales en la temática por parte de los profesores en formación.....	38
Figura 11. Consolidado de las afirmaciones sobre la descripción de objetivos clave en la temática por parte de los profesores en formación.....	39
Figura 12. Prueba calificada del grupo 1 para el planteamiento de los equilibrios.	40
Figura 13. Prueba calificada del grupo 2 para el balance de material del sistema.....	41
Figura 14. Consolidado de los resultados de la prueba de fundamentos conceptuales con base en los niveles de la taxonomía SOLO.	41
Figura 15. Guía de estudio grupo 1	42
Figura 16. Guía de estudio grupo 1	42
Figura 17. Guía de estudio grupo 1	43
Figura 18. Guía de estudio grupo 1	43
Figura 19. Planteamiento de equilibrios del grupo 2 para el sistema H ₃ Cit.	44
Figura 20. Consolidado de la evaluación para el planteamiento de los equilibrios del sistema H ₃ Cit y sus correspondientes constantes.	45
Figura 21. Balance de material y electroneutralidad elaborado por el grupo 3 para el sistema H ₃ Cit.	46
Figura 22. Balance de material en el método logarítmico elaborado por el grupo 3 para el sistema H ₃ Cit.	46
Figura 23. Consolidado de la evaluación del balance de material y electroneutralidad para el sistema H ₃ Cit.....	47
Figura 24. Curva de valoración realizada por el grupo 4 abordando el método sistemático para el sistema H ₃ Cit.....	48
Figura 25. Diagrama logarítmico realizado por el grupo 4 para las especies de citrato. ..	48
Figura 26. Curva de valoración realizado por el grupo 4 abordando el método logarítmico para el sistema H ₃ Cit.....	49
Figura 27. Consolidado de la evaluación para la construcción de curvas de valoración y diagramas logarítmicos para el sistema de H ₃ Cit en medio alcalino.	49

Figura 28. Interpretación del diagrama logarítmico para el sistema de H_3Cit en medio alcalino realizada por el grupo 1.	50
Figura 29. Consolidado de la evaluación frente a la interpretación de las curvas de valoración y diagramas logarítmicos para el sistema H_3Cit en medio alcalino.	51
Figura 30. Consolidado de la evaluación del taller de sistemas ácido-base con respecto a los niveles de la taxonomía SOLO.	52
Figura 31. Consolidado de la evaluación del momento 6 según el nivel de representación en química de Johnstone.	54

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Secuencia didáctica fundamentada en el alineamiento constructivo bajo el modelo 3P	63
Anexo 2. Prueba tipo LIKERT	69
Anexo 3. Prueba de fundamentos conceptuales.	74
Anexo 4. Guía de estudio para el tratamiento sistemático del equilibrio químico ácido-base.	81
Anexo 5. Guía de estudio para el abordaje logarítmico del equilibrio químico ácido-base.	88
Anexo 6. Guía de laboratorio para la determinación de la concentración de ácido fosfórico en una muestra de Coca-Cola.	96

INTRODUCCIÓN

El abordaje de sistemas relacionados al equilibrio químico ácido-base puede tomar complejidad debido a los fundamentos conceptuales que deben conocer y dominar los estudiantes. Es por esto que se hace necesario abordar la enseñanza de esta temática por medio de un proceso lineal y fundamentado en recursos didácticos que promuevan niveles de comprensión que den respuesta al proceso de enseñanza-aprendizaje en el aula y así mismo, que promuevan el crecimiento académico y profesional de los estudiantes.

Por esto la presente investigación tuvo como finalidad la revisión de elementos que deben tenerse en cuenta para la construcción de material didáctico para hacer un seguimiento en los niveles de comprensión que logra un grupo de profesores en formación de la licenciatura en química de la Universidad Pedagógica Nacional en el espacio de Métodos de Análisis Químico, en donde se tiene un área temática referente al equilibrio químico ácido-base, en la cual se pueden abordar estos sistemas a través de la interpretación, descripción y construcción de curvas de valoración potenciométricas y diagramas logarítmicos referentes al comportamiento de las especies en equilibrio a través de las representaciones externas pictóricas como estrategia didáctica.

El contenido de la investigación partió desde la justificación, en la que se identificaron elementos que dieron el aporte teórico desde la literatura y sentaron las bases para orientar y dar sentido a la finalidad del proceso investigativo relacionado con la enseñanza del equilibrio químico ácido-base; se realiza la formulación de la pregunta de la cual se establecieron los objetivos de la investigación que se enfocan en el análisis de la construcción e interpretación de representaciones pictóricas y modelos descriptivos del equilibrio químico ácido-base al abordar una secuencia didáctica fundamentada en el alineamiento constructivo bajo el modelo 3P. Se realizó la respectiva revisión bibliográfica que engloba la elaboración de los antecedentes y referentes conceptuales en los que se

presentan las aproximaciones a los elementos didácticos y disciplinares que guiaron el proceso de diseño, desarrollo y evaluación de la secuencia didáctica.

La metodología de investigación se abordó desde un enfoque cualitativo que se extiende a un enfoque descriptivo-exploratorio y en esta se describen las 4 fases de la investigación, las cuales se refieren al levantamiento de referentes teóricos, el desarrollo de la secuencia didáctica, la evaluación de actividades y la evaluación de las representaciones para posteriormente hacer el respectivo análisis de los resultados obtenidos. Por último se realizaron las conclusiones cuyo principal resultado atendiendo a la pregunta problema, los objetivos planteados y los resultados de la investigación fue que el uso de una secuencia didáctica como estrategia para implementar un proceso de enseñanza-aprendizaje fundamentado en el alineamiento constructivo bajo el modelo 3P, brinda herramientas para analizar como un grupo de profesores en formación construyen, describen y analizan las representaciones pictóricas y modelos descriptivos del equilibrio químico ácido-base a partir de la evaluación continua del nivel de comprensión y nivel de representación en química.

1. JUSTIFICACIÓN

El concepto de equilibrio químico ácido-base nace en la última mitad del siglo XIX con la primera teoría que propuso Svante Arrhenius, establecida según la estructura de estas especies químicas (Garritz, Gasque, y Martínez 2005). A partir de este primer acercamiento a la descripción del comportamiento de algunas disoluciones en equilibrio, surgen otras teorías, modelos y tratamientos, donde se reconocen principalmente los aportes dados por Johannes Brønsted, Thomas Lowry y Gilbert Lewis- que pretenden describir de una manera más acertada la interacción entre las especies químicas implicadas en el equilibrio ácido-base.

Es indispensable categorizar la importancia de las sustancias clasificadas como ácidos o bases en la educación, haciendo énfasis en el uso de estas en la cotidianidad de las personas, ya que como menciona Sánchez (2022) las reacciones ácido-base suelen ser de las más frecuentes en sistemas químicos y de allí la importancia de su estudio, enseñanza y aprendizaje en el contexto de las ciencias, como por ejemplo, se puede hacer referencia al ácido de baterías en automóviles ($\text{O}_2\text{S}(\text{OH})_2$), la leche de magnesia para la acidez estomacal ($\text{Mg}(\text{OH})_2$), o simplemente los ácidos que hacen parte de la dieta humana (ácido cítrico o ácido acético).

En este orden de ideas, en el marco de la formación de profesores se hace necesario explorar las propiedades esenciales de las reacciones ácido-base, incluyendo la neutralización, la hidrólisis, la constante de equilibrio, las zonas de predominio, la variación de las especies, la fuerza iónica, los balances de masa, los balances de electroneutralidad, la concentración analítica, el pH, entre otros conceptos que dan razón a Mena (2012) cuando menciona que el equilibrio químico tiene una gran relevancia en el aprendizaje de reacciones químicas, teorías ácido-base y toda una amplia lista de conceptos o aplicaciones cualitativas y cuantitativas que se dan desde el equilibrio.

En la educación en general, para hacer un abordaje de los sistemas ácido-base a través de la descripción de modelos químico-matemáticos, desde las concepciones previas de una química general, tienden a basarse en un aprendizaje memorístico, repetitivo y mecánico de estos sistemas (Caicedo, 2009). Es por esta razón que es relevante como alternativa abordar este tipo de equilibrio desde la construcción de representaciones externas pictóricas. Como lo mencionan Pozzer y Roth (2003, citados en Lombardi, 2009) la clasificación de las representaciones pictóricas se puede dar por: ecuaciones químico-matemáticas, gráficas, tablas, diagramas, mapas, dibujos y las fotografías.

En este sentido el alineamiento constructivo permite abordar las implicaciones o abordar modelos químico-matemáticas del equilibrio ácido-base ya que se puede hacer un seguimiento del proceso de enseñanza-aprendizaje de los profesores en formación en química, ya que como lo describe Biggs (2006) en su libro de calidad del aprendizaje universitario se debe tener en cuenta: a) el objetivo propuesto donde se quiere llegar, b) una necesidad de llegar al objetivo, c) el trabajo colaborativo y el diálogo docente-estudiante. Entonces el modelo pronóstico, proceso y producto (3P o triple P) se acopla de buena manera a los requisitos del alineamiento constructivo ya que implica incorporar de manera consistente y coherente una secuencia de actividades en la que se articulen los resultados de aprendizaje, las estrategias de enseñanza y los criterios de evaluación que se pueden interpretar como un antes, durante y después del proceso de enseñanza-aprendizaje como lo propone Biggs (2006). Debido a lo anterior, se examina de manera breve cómo se enseña y se aprende el equilibrio ácido-base en un contexto educativo universitario para la formación de profesores en química. Por lo tanto, es conveniente implementar estrategias y recursos didácticos con un enfoque en cómo hacer que el aprendizaje sea más accesible y significativo para todos los estudiantes, independientemente de su nivel de habilidad, sin que decaiga en la memorización de teorías químicas, sino que se busque el desarrollo de habilidades críticas y la resolución de estos sistemas químicos (Castillo, Ramírez, y González, 2013). Es importante tener en

cuenta que la ciencia -principalmente la química- cada vez va adquiriendo una imagen más negativa para los estudiantes y se desvía totalmente de un objetivo social como lo es el desarrollo de habilidades científicas y el desarrollo de una actitud investigativa cuando se hace referencia a la química como una disciplina complicada de entender y que se torna tediosa (Mena, 2012)

Por lo tanto, este trabajo de investigación se sumerge en la intersección crítica entre el equilibrio ácido-base y la educación en ciencias al explorar cómo se enseña, se aprende y se aplica este concepto en el aula y más allá, donde se espera contribuir a una pedagogía o didáctica en la química y las ciencias en general, es decir, se caracterizaron las representaciones externas pictóricas y los modelos descriptivos del equilibrio ácido-base que construyen los profesores en formación de química mediante la implementación de una secuencia de actividades fundamentada en el alineamiento constructivo y el modelo 3P.

2. ANTEDECENTES DEL PROBLEMA

A través de una búsqueda bibliográfica por medio de diferentes bases de datos donde se tuvieron en cuenta varias palabras clave tales como: equilibrio ácido-base, diagramas logarítmicos de concentración efectiva molar, lenguaje gráfico, alineamiento constructivo, modelo 3P, representaciones pictóricas. Algunos aportes encontrados para este trabajo de investigación son:

- Ramírez (2019) en su tesis de magister sobre los *lenguajes de la química como mediadores en el aprendizaje del concepto enlace químico*. Este trabajo de grado contribuye con la identificación de diferentes lenguajes que se dan en la química como el verbal, gráfico -lenguaje pictórico- y matemático, que aportan alguna información para efectuar un proceso de enseñanza-aprendizaje en la educación a partir de las representaciones que generan los estudiantes con relación a conceptos químicos y así mismo, un posterior análisis de estas representaciones.
- Lombardi (2009) expone en su tesis doctoral *“las representaciones pictóricas como problema de aprendizaje. El caso del equilibrio químico”* acerca de las taxonomías que pueden caracterizar las representaciones pictóricas que los alumnos realizan e interpretan al momento de abordar el equilibrio químico. Esta investigación, realizada a partir de un análisis de contenido, cuya recolección de datos arrojan una caracterización sobre las representaciones que realizan los estudiantes mostrando entonces, como se articula un lenguaje pictórico con conceptos de química general. Esta investigación aporta elementos y recursos gráficos de las representaciones pictóricas como eje en la enseñanza del equilibrio químico que intervienen en un cambio conceptual en los estudiantes, además de algunos instrumentos que son usados en la caracterización y análisis de estas representaciones con el fin de reportar resultados basados en el proceso de enseñanza-aprendizaje en química.

- Lombardi, Caballero, y Moreira (2009) en su artículo sobre *el concepto de representación externa como base teórica para generar estrategias que promuevan la lectura significativa del lenguaje científico*, establecen aspectos tales como una revisión documental sobre las representaciones pictóricas y las habilidades de interpretación de estas para la construcción de un lenguaje científico a partir de información gráfica. En la aplicación de esta investigación, se aborda el proceso de enseñanza desde el lenguaje gráfico y se explica como este es una herramienta que puede funcionar al momento de articular la ciencia con algunas competencias en química como lo es el lenguaje científico, pensamiento crítico, interpretación gráfica, entre otras. Este trabajo brinda elementos importantes hacia las representaciones pictóricas y como estas contribuyen en el aprendizaje hacia la integración entre el discurso y lenguaje científico de los estudiantes a través de la lectura de un texto. El análisis de este trabajo lleva a preguntarse desde un punto de vista pedagógico y didáctico si es necesario implementar este tipo de representaciones como parte de la química para dirigir estos procesos de aprendizaje, lo cual es referente a la importancia de conectar el lenguaje gráfico con otras competencias que se busquen desarrollar en el aula
- Aguirre (2018) describe en su tesis de grado *“Descripción moderna del equilibrio químico implicado en las reacciones ácido-base: mediada por una estrategia didáctica”* la implementación de una secuencia didáctica basada en el equilibrio químico ácido-base para estudiantes de educación media para evaluar el grado de comprensión que tienen estos ante la temática a través de una metodología cuantitativa. El documento está diseñado para revisar la metodología en cuanto a la aplicación de un modelo sistemático para abordar los sistemas en equilibrio ácido-base y las implicaciones químico-matemáticas que estos pueden tener.
- Bernal y Guevara (2021) en su proyecto de investigación *“Elementos teóricos y metodológicos del modelo de química en contexto para el diseño de una secuencia didáctica fundamentada en el equilibrio químico redox y*

diagramas logarítmicos” reflejan una relación entre diagramas propios del equilibrio y su implicación químico-matemática con la didáctica para fortalecer las habilidades de los estudiantes y la posterior evaluación de estas que se reflejan a partir de una metodología mixta que relaciona aspectos cualitativos con aspectos cuantitativos. Partiendo de esto, el trabajo cuenta con una de las temáticas más relevantes para esta investigación siendo los diagramas logarítmicos (diagramas logarítmicos de la concentración efectiva molar). A partir de allí, y siendo un trabajo aplicado a profesores en formación de la Universidad Pedagógica Nacional, da grandes aportes hacia el uso, implementación y evaluación de algunos instrumentos, ligados a una metodología cualitativa y cuantitativa basada en la enseñanza de sistemas químico-matemáticos, además de algunos acercamientos conceptuales complementan la descripción de estos sistemas en equilibrio.

- Riveros y Reyes (2022) en su tesis de posgrado *“Una revisión documental sobre la espectroscopia de absorción y emisión atómica: construcción de un proyecto curricular desde el alineamiento constructivo”* analizan la implicación del alineamiento constructivo, el modelo 3P y la taxonomía SOLO con su incidencia en la didáctica durante la construcción de un proyecto curricular. Este trabajo tiene una implicación importante en el enfoque pedagógico y didáctico de esta investigación al abordar el alineamiento constructivo y el modelo 3P teniendo en cuenta su aplicación en el nivel universitario a través de la relación de unos objetivos planteados al inicio con la metodología con los resultados en un proceso de enseñanza-aprendizaje en el aula.

3. FORMULACIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

En la formación de profesores en el área de las ciencias, y química en particular, es fundamental comprender y abordar el equilibrio químico para los sistemas ácido-base que se presentan en diferentes campos como la biología, la química, la medicina, las ciencias ambientales, la industria, entre otras (Kahlert y Scholz, 2013). Como lo menciona Santos y Arroio (2016) dentro de la enseñanza de la química (como disciplina de interés) y principalmente el equilibrio químico (con todas las redes conceptuales asociadas), es necesario formular una serie de representaciones químicas desde los niveles macroscópico (cambios percibidos a simple vista), submicroscópico (interacción química de las especies) y simbólico (gráficas, ecuaciones, reacciones) que den evidencia de una comprensión, interpretación y resolución correcta de estos sistemas en equilibrio dinámico.

Estos aspectos mencionados al abordar el equilibrio químico implican la descripción de unos modelos químico-matemáticos, donde algunos de estos corresponden al tratamiento sistemático (modelo sistemático) y el modelo de diagramas ácido-base. Según Harris (2010) en su libro menciona que el tratamiento sistemático del equilibrio químico puede lidiar (sin importar la complejidad) con cualquier tipo de equilibrio a partir de expresiones algebraicas basadas en el número de especies existentes en una disolución en equilibrio y así, lograr una aproximación matemática a la explicación de sistemas de equilibrio ácido-base.

Debido al tratamiento sistemático del equilibrio químico y dada la complejidad (como se mencionó) de algunos sistemas ácido-base, Kahlert y Scholz (2013) proponen un modelo para la comprensión de estos sistemas químicos y sus correspondientes cálculos matemáticos, los cuales denominaron “diagramas ácido-base”. Estos diagramas muestran de manera precisa la interacción entre el potencial de hidrógeno (pH) de una disolución acuosa con el logaritmo de las concentraciones de las diferentes especies en equilibrio. La implicación de este modelo puede

analizarse posteriormente en el trabajo práctico de laboratorio cuyo objetivo es corroborar los resultados teóricos con los experimentales.

En las ciencias es necesario valorar las representaciones en la significancia de conceptos y metodologías, por esto Eysenck y Keane (1990) hablan de dos tipos de representaciones: la representación externa y representación interna. Para este caso será la representación externa el punto de atención principal debido a los dos grupos en los que se divide, uno de ellos siendo la representación externa lingüística (REL) y la representación externa pictórica (REP) (Eysenck y Keane, 1990 citado en Lombardi, 2009). El hecho que los diagramas ácido-base sean un método mayormente gráfico y de interacción matemática, articula perfectamente con un lenguaje pictórico como eje central en la enseñanza del equilibrio químico ácido-base. Como menciona Lombardi (2009) en su tesis doctoral, las representaciones pictóricas hacen parte de una comunicación en conjunto, es decir qué a partir de representaciones, se puede llevar un mensaje lleno de información pero más “digerible” que lo que se puede transmitir en una representación lingüística en un aula de clase. Dentro de la enseñanza de la química el lenguaje pictórico siempre ha permanecido implícito en todas las representaciones gráficas, matemáticas y químicas, pero se pretende lograr un mayor énfasis con este lenguaje dentro del aula como forma de comunicación en la enseñanza y formación de profesores.

Es clave también, pensar en los resultados de aprendizaje de los estudiantes, lo que conlleva a reconocer la consistencia entre las estrategias de enseñanza y que los criterios de evaluación estén alineados con lo que un sujeto quiere aprender. Según Biggs (2006) se puede desarrollar: a) un enfoque profundo, basado en el aprendizaje significativo de Ausubel, “conocimiento funcional” o b) un enfoque superficial, con sus bases en el aprendizaje memorístico y tradicional, “conocimiento declarativo”. Por medio del aprendizaje significativo es posible caracterizar los procesos de los estudiantes en un alto índice de posibilidades y resultados, es por esto, que al articular un proceso que involucre unos objetivos propuestos, se pueda seguir a través de una linealidad con base en la estrategia de enseñanza, la

evaluación de los procesos de enseñanza-aprendizaje y las actividades desarrolladas en el aprendizaje (Cubillos, 2020). Este sistema mencionado es conocido como el 'alineamiento constructivo', el cual hace énfasis en que la evaluación de los procesos esté fuertemente ligada a los objetivos de aprendizaje y por esto, se propone el modelo pronóstico, proceso y producto (3P o triple P) el cual centra la interacción de estos tres aspectos educativos en promover la enseñanza y el aprendizaje hacia una meta propuesta desde el inicio (Cubillos, 2020). Cuando los tres elementos del modelo triple P se encuentran alineados, resulta un desarrollo de la enseñanza-aprendizaje de forma distintiva y de alta calidad (Orejudo, 2006).

Desde esta perspectiva, se abordó el estudio de los equilibrios ácido-base por medio de modelos químico-matemáticos, en particular el método sistemático y el método logarítmico de concentración molar efectiva, cuya descripción de las interacciones entre las especies químicas implicadas en este tipo de sistemas contribuyen en la construcción de diagramas y curvas de titulación, que promueven el desarrollo de habilidades científicas de profesores en formación en química para la interpretación, análisis y predicción del comportamiento de estas especies (reactividad, estabilidad y predominancia) a través de las representaciones pictóricas relacionadas con este tipo de equilibrios.

En este orden de ideas, la pregunta problema eje de esta investigación es: ¿Qué tipos de representaciones externas pictóricas y modelos descriptivos del equilibrio ácido-base construyen un grupo de profesores en formación en química de la Universidad Pedagógica Nacional al abordar una secuencia didáctica fundamentada en el alineamiento constructivo bajo el modelo 3P?

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Analizar los tipos de representaciones externas pictóricas y los modelos descriptivos del equilibrio ácido-base que construyen un grupo de profesores en formación de química de la Universidad Pedagógica Nacional para identificar el nivel de comprensión que desarrollan al abordar una secuencia didáctica fundamentada en el alineamiento constructivo bajo el modelo 3P.

4.2. Objetivos Específicos

- Identificar los elementos que caracterizan el diseño de una secuencia didáctica fundamentada en el alineamiento constructivo bajo el modelo 3P y los modelos químico-matemáticos que describen las curvas de valoración potenciométrica de los equilibrios ácido-base.
- Caracterizar los niveles de comprensión desarrollan un grupo de profesores en formación del espacio académico de Métodos de Análisis Químico al abordar situaciones problema relacionadas con el equilibrio químico ácido-base.
- Categorizar los niveles de las representaciones en química que construyen un grupo de profesores en formación cuando describen y formulan modelos para las curvas de valoración potenciométrica de sistemas de diferente fortaleza ácido-base.

5. REFERENTES CONCEPTUALES

Teniendo en cuenta algunos de los conceptos más relevantes, se presentan los referentes conceptuales que limitan el trabajo de investigación, donde se puede destacar: a) el alineamiento constructivo, b) el modelo 3P, c) las representaciones externas pictóricas y d) el equilibrio químico ácido-base.

5.1. Alineamiento constructivo

Para Biggs (2011) como principal autor del alineamiento constructivo, lo define como una guía en el proceso de enseñanza-aprendizaje a partir de alinear y hacer un seguimiento a todo el proceso, desde el objetivo trazado, pasando por toda una metodología de acción en el aula, hasta una evaluación del desarrollo de conocimiento. Biggs (2006) lo que plantea es que todo el proceso de enseñanza se base en un enfoque de aprendizaje profundo, en el que se busca despertar un interés para que los estudiantes signifiquen, interpreten y asocien los contenidos abordados en el aula, mientras que por otro lado, el alineamiento constructivo evita caer en un enfoque de aprendizaje superficial donde no hay un interés de los estudiantes para lograr un esfuerzo cognitivo, ni comprensión de conceptos y solo decae en aprender mínimos detalles que puedan ser preguntados en la evaluación.

El Alineamiento constructivo de Biggs toma bastantes aportes del aprendizaje significativo de Ausubel (siendo uno de los que da una clara importancia al alineamiento entre los objetivos propuestos y los resultados obtenidos en el aula), es por esto por lo que el término proviene del constructivismo y del alineamiento de la enseñanza (Cubillos, 2020). A su vez, el alineamiento constructivo procura tener fuerte lazo entre el papel del estudiante y el profesor donde Biggs y Tang (2011) proponen una evidencia de aprendizaje desde la perspectiva de los estudiantes simultáneamente a una evidencia de enseñanza desde la perspectiva de los profesores, donde exponen algunos aspectos para tener en cuenta los cuales se citan en la Tabla 1 y 2.

Tabla 1. Evidencias de aprendizaje desde la perspectiva de los estudiantes.

Estudiantes	
¿Qué aprendo?	Donde los estudiantes se cuestionan si tienen ideas claras de que es lo que estan aprendiendo
¿Cómo lo aprendo?	Los estudiantes se preguntan si lo que se aprende está bien articulado a la manera de cómo se enseña
¿Qué tan bien aprendo?	Los estudiantes piensan si la enseñanza es guiada y direccionada hacia lo que se quiere aprender
¿Cómo me siento con el aprendizaje?	Los estudiantes enuncian si se sienten cómodos y satisfechos con las clases
Reflexión de aprendizaje.	Los estudiantes explican si la experiencia en el aula es constructiva para ellos en pro de ser reflexivos y encontrar un autoaprendizaje

Nota. Tomado y adaptado de Biggs y Tang (2011).

Tabla 2. Evidencias de enseñanza desde la perspectiva de los profesores.

Profesores	
Evidencia que el profesor proporciona.	Aspecto en el que el profesor refleja su filosofía y su práctica docente a partir de sus estudios, currículo, publicaciones, innovación, liderazgo, entre otros.
Evidencia proporcionada por pares, estudiantes y otros.	Espacio donde el profesor se basa en la retroalimentación y comentarios que brinden otros profesores, estudiantes o entidad(es) educativa(s) acerca de su método de enseñanza
Autocrítica y autorreflexión.	El profesor piensa desde sus fortalezas, aspectos por mejorar y su plan de acción para replantear aquellos aspectos en su desarrollo profesional

Nota. Tomado y adaptado de Biggs y Tang (2011).

En la Tabla 1 se muestra que más allá de un enfoque de aprendizaje superficial, se busca que el estudiante se desenvuelva en el aula con criterios fuera de un tradicionalismo (al menos en ciencia) para poder llegar a resultados favorables tanto para el estudiante como para el profesor. Para el caso de los profesores sus evidencias se reflejan en la Tabla 2 en la cual se resalta la responsabilidad del profesor al llevar el proceso de enseñanza de los estudiantes teniendo en cuenta los aspectos conceptuales, al mismo tiempo que se tienen en cuenta algunos

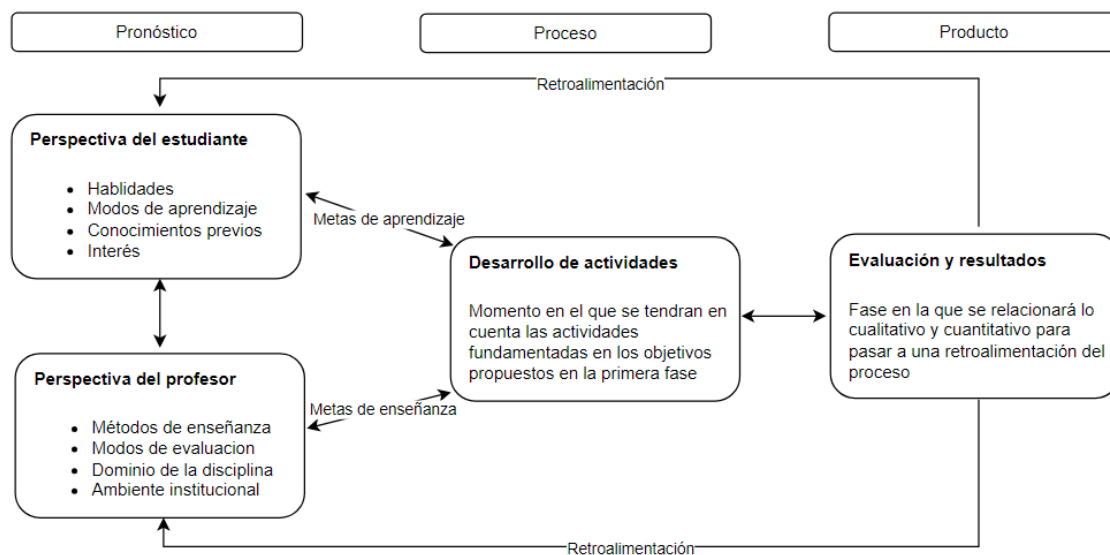
aspectos emocionales. Por lo tanto, según Encinas (2010) el alineamiento constructivo pone a los estudiantes como los protagonistas despertando su interés y compromiso en la construcción y desarrollo del conocimiento teniendo en cuenta la participación activa que estos tienen durante todo el proceso de enseñanza. Teniendo en cuenta la corriente de Biggs, existen modelos que logran articularse de forma que no se pierda la intencionalidad del alineamiento constructivo y uno de estos modelos es el Modelo Pronóstico-Proceso-Producto.

5.2. Modelo Pronóstico-Proceso-Producto

Este modelo también conocido como Triple P o 3P, toma los aspectos del alineamiento constructivo para aplicarlos bajo una metodología dividida y desarrollada en tres fases las cuales corresponden a una fase de pronóstico, la siguiente fase se refiere al proceso y la última de estas que se basa en el producto (Oquendo, Velázquez, Rose, y Cervera, 2022).

Para la fase de pronóstico se hace referencia al primer momento de lo que sucede previo al proceso de enseñanza-aprendizaje donde se deben plantear los objetivos eje de todo este modelo y al mismo tiempo, aquí se tiene en cuenta la perspectiva de los profesores (métodos de enseñanza, modos de evaluación) y los estudiantes (conocimientos previos, interés) como variables dentro del desarrollo educativo. Para la fase de proceso se implementan las actividades propuestas en el proceso, y en esta fase es importante tener en cuenta tanto que los objetivos propuestos en el pronóstico estén fuertemente ligados a las actividades, como el enfoque que se le dé a este (enfoque de aprendizaje superficial o profundo). En la fase final, el producto consta de las competencias y los logros alcanzados por los estudiantes durante el proceso de enseñanza-aprendizaje, por eso se debe tener en cuenta el desempeño durante las fases anteriores para realizar un contraste entre lo cualitativo y lo cuantitativo, y así, desarrollar una retroalimentación de la construcción de conocimiento bajo este modelo.

Figura 1. El modelo de aprendizaje 3P de J. Biggs



Nota. Tomado y adaptado de Maquilón y Hernández (2011).

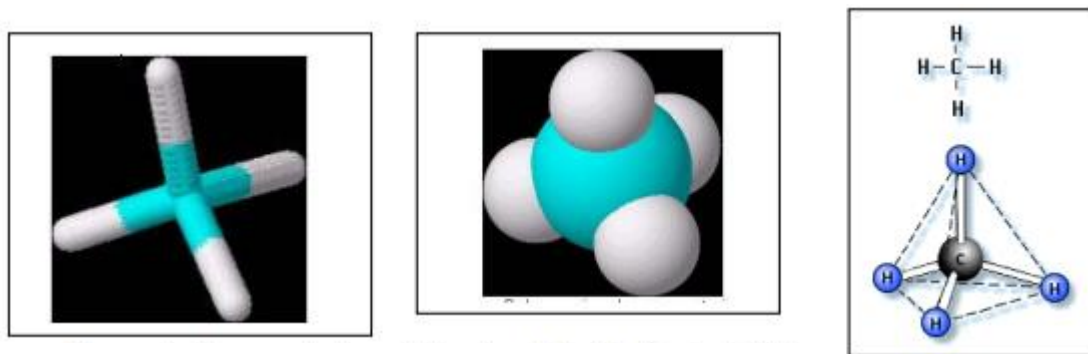
A partir de la Figura 1 donde se encuentran organizadas y descritas las tres etapas del modelo 3P con sus respectivas características, se entiende la conexión entre la perspectiva del estudiante y docente, los objetivos (metas) que se plantean, el desarrollo de actividades, la evaluación y los resultados, donde se resalta la importancia de la retroalimentación del proceso de enseñanza-aprendizaje. Siendo así esta articulación entre las fases del modelo 3P, que lo hace ideal para aplicar los fundamentos del alineamiento constructivo de Biggs (Riveros y Reyes, 2022) y a su vez, las fases del modelo 3P pueden expresarse a partir de un lenguaje pictórico que represente algunos de los conceptos y/o procesos del equilibrio químico, por esto es que las representaciones externas pictóricas hacen parte de este enfoque pedagógico y didáctico como eje para hacer más “digerible” la amplia información que se pueda presentar en el aula.

5.3. Representaciones externas pictóricas

Las representaciones externas pictóricas (REP) tienen un papel importante en la educación en química pues estas se refieren a cualquier tipo de representación que

se le pueda asignar a un sistema químico, como lo puede ser la representación de la materia en una reacción química o la interacción de especies a partir de un diagrama. Según Lombardi (2009) existen varios factores que pueden clasificar las representaciones pictóricas según la influencia que tienen en la comprensión de un texto, de una analogía, o que representan los niveles macroscópicos, los submicroscópicos y simbólicos (Santos y Arroio, 2016) tal y como lo muestra la Figura 2 referente a la representación de la molécula de metano en un nivel submicroscópico y simbólico. El uso de representaciones pictóricas no debe ser el único foco dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje ya que como lo mencionan Saux, Burin, y Irrazabal (2015) el uso de estos puede conllevar tantas consecuencias (cognitivas y actitudinales) positivas como negativas al momento de abordar una temática en la química. Al haber mencionado las representaciones externas pictóricas como un lenguaje gráfico al que pertenecen las ecuaciones, diagramas, tablas, entre otros, las hace ideales para la interpretación de modelos químico-matemáticos que puedan contribuir hacia un aprendizaje profundo, en este caso, el equilibrio químico ácido-base siendo el principal enfoque disciplinar de los denominados modelos químico-matemáticos.

Figura 2. Representaciones de la molécula de metano.



Nota. Tomado de Lombardi (2009).

De esta manera, Lombardi (2009) habla acerca de las funciones en la educación que tienen las representaciones externas pictóricas, siendo: a) la contribución a la memoria a corto plazo y tareas cognitivas de resolución de problemas y toma de

decisiones, b) la presentación de contenidos que se den para dar significado a los conceptos, esto, definido por Lemke (1998) con cuatro funciones de la representación pictórica siendo la función paradigmática, situacional, sintagmática e intertextualidad, y c) facilitar el proceso de comunicación en el aula de clase a partir de la discusión de los contenidos a partir de la socialización de la representación y los significados que puedan dar los estudiantes. Debido a que la química puede interpretarse como una ciencia de representaciones, es posible abordar diferentes temáticas que correspondan a la necesidad de gráficas, diagramas, tablas, y es por esto que el equilibrio químico ácido-base es ideal para el uso de representaciones externas pictóricas teniendo en cuenta la construcción de curvas de valoración, diagramas de zonas de predominio, diagramas logarítmicos y una amplia variedad de representaciones al proponer un modelo químico-matemático para abordar este tipo de sistemas.

5.4. Equilibrio químico ácido-base

El equilibrio ácido-base es uno de los conceptos más significativos dentro de la química (y la ciencia en general) por la aplicación que se le puede dar a este tipo de sistemas a partir de la cuantificación de ácidos y bases como lo pueden ser la neutralización, la oxidación, actividad enzimática, hidrólisis, entre otros que pueden ser analizados desde el punto de vista de la concentración del ion hidronio presente en este tipo de reacciones (Clavijo, 2002). Para adentrarse en el equilibrio químico ácido-base se hace necesario dar un pequeño recorrido histórico a partir de algunos de sus exponentes más importantes, por ejemplo a finales del siglo XIX, Svante Arrhenius presentó la primera teoría en la que mencionó estas especies donde presenta que un ácido es aquella sustancia que en solución acuosa produce iones hidronio (H^+), mientras que una base es una sustancia que en solución acuosa produce iones hidroxilo (HO^-). Por otro lado en la primera mitad del siglo XX, Johannes Brønsted y Thomas Lowry presentaron una de las teorías más aceptadas y vigentes aún hasta el día de hoy (teoría de Brønsted-Lowry), en la cual mencionan

los ácidos como sustancias donadoras de protones y las bases como receptoras de protones. En el mismo siglo de la postulación de la teoría de Brønsted-Lowry, el químico danés Sørensen introdujo el concepto de pH (potencial de hidrógeno) a la química para cuantificar la acidez o alcalinidad de una especie en solución a través de la concentración de protones o iones hidronio, y dicho postulado resultó en una de las bases más importantes para la comprensión de la química moderna en cuanto al equilibrio ácido-base. De esta manera, teniendo en cuenta las especies presentes en sistemas ácido-base, se hace necesario el uso de algunos métodos que puedan describir el comportamiento de estas especies en solución, y es por esto que se plantean dos de estos métodos siendo el método sistemático y el uso de diagramas de concentración molar efectiva.

5.4.1. Método sistemático

Para Harris (2010) el método sistemático para el tratamiento de sistemas ácido-base es una forma de abordar este tipo de equilibrios teniendo en cuenta que el número de especies desconocidas en el sistema, corresponden al número de ecuaciones algebraicas determinadas, siendo de esta manera que el método omite la complejidad de los equilibrios y solo dependa de las condiciones de reacción que aproxime a una simplificación del sistema. Al tratarse de una metodología sistemática cuenta con su respectivo método ordenado cuya descripción está dada por:

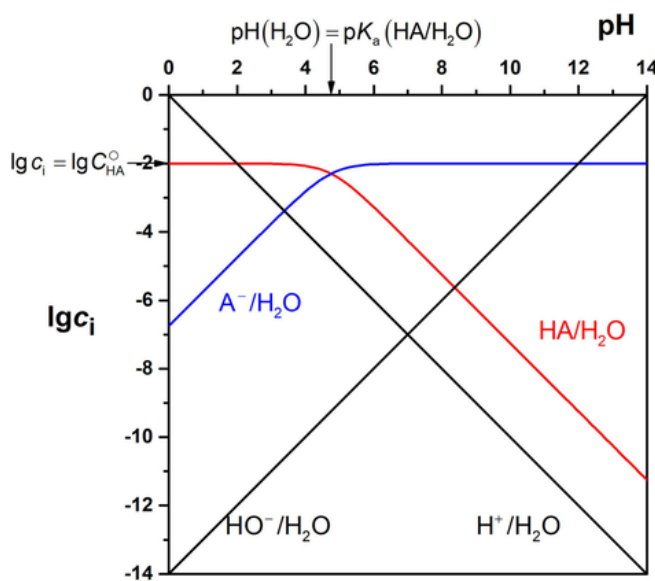
- 1) Plantear las ecuaciones del sistema con sus respectivas constantes de equilibrio (En el caso de que la $K_a < 1$).
- 2) Escribir el balance de cargas.
- 3) Escribir el balance de masa de las especies.
- 4) Contar las incógnitas para que se igualen al número de ecuaciones planteadas según las especies del sistema.
- 5) Resolver las incógnitas.

5.4.2. Diagramas logarítmicos de concentración efectiva molar

El uso de diagramas para el aprendizaje de la química implica la interpretación y construcción de mensajes cargados de información que se simplifican de forma gráfica para los estudiantes (Lombardi, 2009). Es de esta manera que este tipo de lenguaje gráfico implícito en las ciencias facilitan el proceso de enseñanza-aprendizaje a partir de ecuaciones, gráficas, tablas, y en este caso diagramas.

Para abordar los sistemas de equilibrio ácido-base desde otra perspectiva químico-matemática, se plantean los diagramas logarítmicos de concentración, que a partir de las ecuaciones algebraicas que se determinen y que se relacionan con la concentración efectiva molar de las especies en función una de la otra, donde estas concentraciones son las que pueden ser representadas de forma algebraica o de manera gráfica para entender el comportamiento del sistema (Baeza, 2010). Los diagramas pH-Log_c estudian el comportamiento de todas las especies presentes en la solución acuosa como en la Figura 3 que se muestran las especies que componen el ácido acético y la interacción de estas con la concentración y el pH.

Figura 3. Diagrama pH-Log_c con las líneas H^+/H_2O , $(HO)^-/H_2O$, HA/H_2O y A^-/H_2O para una solución de ácido acético $C_{HA}^0=0,01 \text{ mol L}^{-1}$ y $pK_a (HA/H_2O)=4,75$



Nota. Tomado de Kahlert y Leito, 2019.

6. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Para responder a la pregunta problema y los objetivos planteados en este proyecto, se desarrolló la investigación bajo un enfoque de metodología cualitativa que se extiende a un enfoque descriptivo-exploratorio, ya que se centró en examinar el uso del lenguaje pictórico a partir de modelos químico-matemáticos al abordar el equilibrio químico ácido-base, y de esta forma, familiarizar a los participantes con la temática para encontrar una explicación a los fenómenos desde el análisis de las características más relevantes de los modelos y diagramas (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio, 2014). Los datos que se recolectaron durante la investigación por medio de la secuencia didáctica, se analizaron bajo rúbricas evaluativas fundamentadas en la taxonomía SOLO (*Structure of the Observed Learning Outcome*) para determinar el nivel de fortalecimiento de habilidades de interpretación, representación y construcción de los modelos químico-matemáticos en un grupo de profesores en formación.

Este proyecto de investigación se llevó a cabo en el marco de modelo triple P o 3P, el cual, según Rosário, Núñez, González, Almeida, Soares y Rubio (2005) es un modelo en el que existen cuatro componentes que lo soportan, dos de ellos enfocados al pronóstico (el contexto de aprendizaje y los estudiantes) uno relacionado al proceso (procesos de aprendizaje) y el último referente al producto (resultados de aprendizaje). El modelo 3P brinda la estructura metodológica para abordar las diferentes situaciones problema dentro de la investigación, y esta se divide en tres fases continuas que proporcionan la información necesaria para iniciar un proceso de aprendizaje y los resultados cualitativos esperados de dicho proceso.

6.1. Participantes

La investigación se orientó hacia un grupo de veintiocho (28) profesores en formación de la Universidad Pedagógica Nacional inscritos al programa de Licenciatura en Química que se encuentran cursando el espacio académico de

Métodos de Análisis Químico, ya que, en el programa analítico de dicho curso se encuentra un área temática referente al análisis volumétrico ácido-base.

6.2. Fases de la investigación

Para el desarrollo del proyecto de investigación se propusieron las siguientes fases metodológicas de la investigación:

6.2.1. Fase 1: Levantamiento de los referentes teóricos

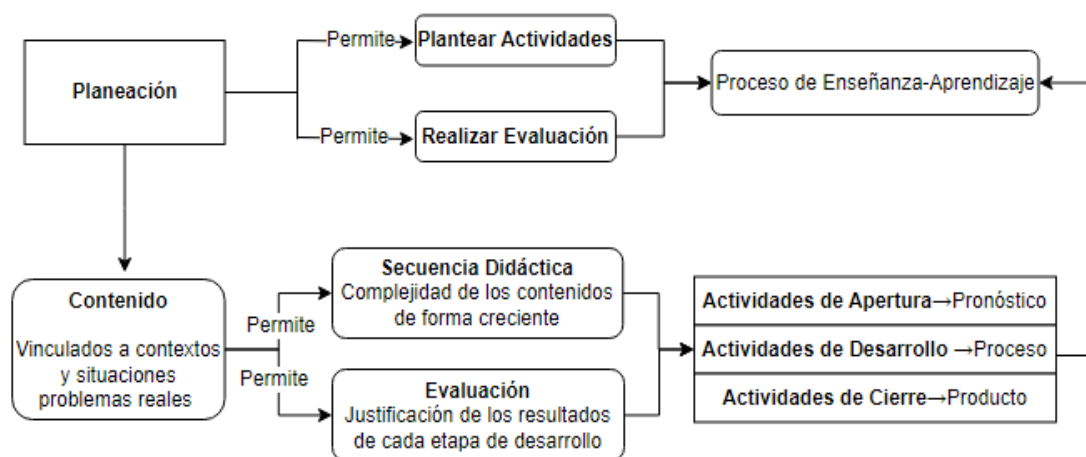
En esta fase se caracterizaron los referentes teóricos y metodológicos que sirvieron como base en la construcción de antecedentes y marco referencial, los cuales se presentan como el fundamento teórico para este proyecto de investigación. Para lo anterior mencionado, la búsqueda bibliográfica se realizó a través de los repositorios de la Universidad Pedagógica Nacional, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Universidad Nacional de Colombia, Universidad Javeriana y bases de datos de acceso libre como Google Académico, Dialnet, Scielo, Scopus, Redalyc y ChemRxiv. Para la búsqueda de documentos de interés, se establecen cinco criterios de búsqueda relacionados con: equilibrio ácido-base, representaciones pictóricas, diagramas logarítmicos de concentración molar efectiva, alineamiento constructivo y el modelo 3P. La búsqueda se realizó con una amplia disponibilidad de documentos (libros, artículos científicos, revistas, trabajos de grado de pregrado y posgrado, entre otros). Estos referentes teóricos se adaptaron al desarrollo de la secuencia didáctica.

6.2.2. Fase 2: Desarrollo de la secuencia didáctica

La fase 2 se lleva a cabo adaptando la metodología para la construcción de una secuencia didáctica que presenta Diaz-Barriga (2013) el cual propone el desarrollo de la secuencia a partir de la planeación que contempla el desarrollo de contenidos (enfocados a situaciones problema y contextos reales), las actividades que se

plantean y las evidencias de la evaluación (como justificación de los resultados de las etapas de la secuencia didáctica). Estos aspectos pedagógicos o didácticos se agrupan en tres (3) etapas metodológicas las cuales son: las actividades de apertura, actividades de desarrollo y actividades de cierre, las cuales posteriormente se adaptaron al modelo 3P como se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Construcción de una secuencia de actividades con el modelo 3P



Nota. Tomado y adaptado de Diaz-Barriga (2013).

Las etapas para el desarrollo de la secuencia didáctica para el modelo 3P son: etapa pronóstico, etapa proceso y etapa producto. De esta manera se muestra la secuencia didáctica para la fase metodológica en el Anexo 1.

6.2.2.1. Criterios para la planificación de actividades

En el diseño de las actividades se tuvieron en cuenta criterios que articularan el equilibrio ácido-base con situaciones problemas reales (tal y como se menciona en el apartado anterior) familiarizando a los profesores en formación con la temática y así, proponer aplicaciones industriales o experimentales donde intervienen especies ácidas y/o básicas en equilibrio. Entonces en la Tabla 3, se describen los criterios necesarios para definir la tipología de las actividades que hacen parte de la secuencia didáctica que de acuerdo con Sanmartí (2002), la clasificación de las

actividades no es sencilla, ya que cada una debe tener una finalidad para los estudiantes requiriendo de unos recursos específicos. En este orden de ideas, se toman 4 de los 5 criterios que plantea el autor para la planificación y caracterización de actividades.

Tabla 3. *Criterios para la planificación y caracterización de actividades.*

Criterio	Nivel	Actividades
Actividades y recursos orientados a percibir hechos directamente y construirlos	A	-Observación y análisis de fenómenos -Demostración, deducción y/o comprobación de regularidades
Actividades y recursos orientados a percibir hechos indirectamente y construirlos	B	-Observación de recursos y material gráfico (diapositivas, fotografías, diagramas, representaciones pictóricas) -Lectura de textos
Actividades orientadas a construir el conocimiento interactuando con otras personas y fuentes de información	C	-Lectura de documentos provenientes de artículos, libros de texto o internet -Actividades de análisis discusión y reelaboración en pequeños grupos o parejas -Actividades de evaluación entre el alumnado o de evaluación entre éste y el profesorado -Exposiciones magistrales y/o interactivas por parte del profesorado utilizando varios recursos como el tablero, diapositivas, guías
Actividades orientadas a construir el conocimiento reflexionando individualmente	D	-Resolución de problemas y ejercicios -Respuesta a cuestionarios -Elaboración de resúmenes, definiciones, informes de laboratorio -Elaboración de diagramas, representaciones, gráficos, tablas

Nota. Tomada y adaptada de Sanmartí (2002)

La construcción de las actividades dentro de la secuencia didáctica se realizó en cuatro (4) pasos teniendo en cuenta los recursos y el tiempo de cada sesión:

- a) Descripción: se detallan los aspectos clave de las actividades.
- b) Objetivos: se plantean las metas de lo que se quiere lograr con los profesores en formación según la actividad.

- c) Criterios de evaluación: se proponen los instrumentos con los que se dará validación a los resultados de las actividades.
- d) Nivel de caracterización: se identifican las actividades según los criterios dados en la Tabla 3.

6.2.2.2. Etapas de la secuencia didáctica

A continuación se presenta la Tabla 4 donde se encuentran las etapas, momentos y descripción del desarrollo de la secuencia didáctica organizadas según el modelo 3P.

Tabla 4. Etapas de la secuencia didáctica según el modelo 3P.

Etapas y momentos		Descripción
Etapa pronóstico	Momento 1	Para el primer momento, se implementó una prueba tipo Likert, compuesta por un total de diez (10) afirmaciones categorizadas en tres (3) secciones que brindan la información necesaria para caracterizar la percepción de los profesores en formación frente a su interés, fundamentación conceptual y descripción de objetivos clave de la temática de equilibrio ácido-base relacionados con su contexto educativo y en su formación profesional, evaluada a través de una rúbrica con cinco (5) categorías de evaluación estructuradas en los niveles de: a) totalmente de acuerdo, b) de acuerdo, c) ni de acuerdo ni en desacuerdo, d) en desacuerdo y e) en total desacuerdo que caracterizan los tres criterios mencionados anteriormente. (ver Anexo 2)
	Momento 2	Para el segundo momento, se llevó a cabo una prueba parcialmente resuelta, con los métodos objeto de abordaje (sistemático y logarítmico) asociados al equilibrio químico ácido-base, en particular una situación relacionada con la explotación minera de carbón en Colombia y la afectación socioambiental que generan los subproductos de algunos compuestos o especies del arsénico, donde la prueba constó de tres apartados, los dos primeros están resueltos, el profesor en formación debía resolver y hacer la revisión de estos apartados (enfocados al abordaje del método sistemático) identificando los errores, aciertos y realizando los comentarios pertinentes de todo el procedimiento y pasos que el método implica, mientras que el tercer apartado implica la interpretación y

		descripción teórica de un diagrama logarítmico con su respectiva curva de valoración y esta actividad fue evaluada por medio de una rúbrica evaluativa fundamentada en la taxonomía SOLO. (ver Anexo 3)
Etap proceso	Momento 3	Para el primer momento, se realizó una intervención educativa para dar la introducción a ambos métodos químico-matemáticos objeto de estudio con el propósito de describir como los profesores en formación abordan situaciones problema relacionadas a los equilibrios químicos ácido-base para la construcción e interpretación de curvas de valoración (en el caso del método sistemático) y diagramas pH-Log _c con su respectiva curva de valoración (en el caso del método logarítmico). Se hizo uso de dos (2) guías de estudio diseñadas por el profesor investigador las cuales se estructuraron según los tratamientos objeto de estudio para los equilibrios ácido-base presentando el caso del ácido sulfúrico en medio alcalino para ejemplificar el procedimiento de los métodos, mientras que simultáneamente se presenta un caso ácido-base de las especies de carbonato en medio ácido para que los profesores en formación resuelvan el sistema a partir de preguntas de opción múltiple y planteamiento de algunas expresiones matemáticas a lo largo de la guía de estudio. Debido a la complejidad en el uso de los métodos por medio de hojas de cálculo, se realizaron dos (2) sesiones de tutoría enfocadas a la resolución de dudas y adicionalmente, se realizaron tres (3) materiales videográficos como instructivo para la construcción de las curvas de valoración y diagramas pH-Log _c . (ver Anexo 4 y 5)
	Momento 4	Para el segundo momento, se llevó a cabo una práctica de laboratorio enfocada a la identificación de la relación teórico-experimental que realizan los profesores en formación a partir de una valoración potenciométrica como método para la construcción de curvas de valoración y diagramas pH-Log _c partiendo del experimento en el laboratorio de química. (ver Anexo 6)
Etap producto	Momento 5	El primer momento, corresponde a un taller donde se propone un caso referente al equilibrio químico ácido-base con el ácido cítrico, donde el propósito fue que los profesores en formación formalizaran sus conocimientos mediante el abordaje de este caso para así, construir e interpretar los diagramas resultantes con

		base en los métodos químico-matemáticos objeto de estudio.
	Momento 6	El segundo momento, correspondió al informe de laboratorio, en el cual, a partir de los datos obtenidos en la práctica experimental los profesores en formación podían demostrar la relación entre los métodos químico-matemáticos de forma teórica y de forma experimental mientras que realizan las representaciones pictóricas que sean necesarias para cubrir los parámetros dados en la entrega de este trabajo (objetivos, procedimiento, resultados, análisis, conclusiones y referentes).

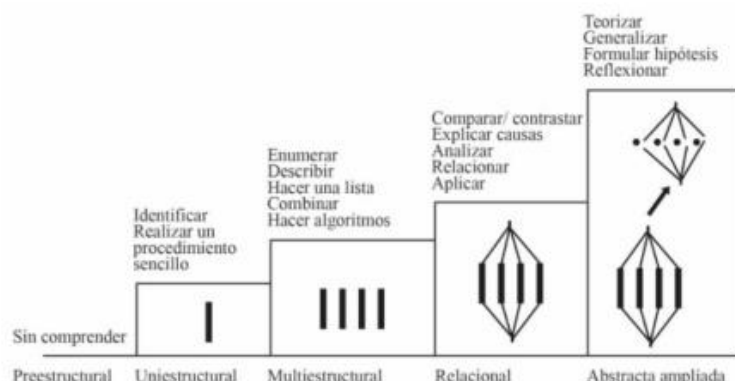
Nota. Elaboración propia

Estas fases contribuyeron a dar respuesta a la pregunta problema y al desarrollo de los objetivos general propuesto el cual se enfoca en analizar los tipos de representaciones pictóricas que construyen un grupo de profesores en formación al abordar una secuencia didáctica fundamentada en el alineamiento constructivo bajo el modelo 3P.

6.2.3. Fase 3: Evaluación de actividades

Para evaluar el desarrollo de actividades dentro de la secuencia didáctica relacionadas a la construcción e interpretación de curvas de valoración y diagramas logarítmicos para equilibrios ácido-base, se construyeron rúbricas evaluativas fundamentadas en la taxonomía SOLO (según sus siglas: *Structure of Observed Learning Outcome*) propuesta por Biggs en el siglo XX, la cual se enfoca en analizar el resultado del aprendizaje y evaluación de instrumentos contruidos para una temática específica. La taxonomía SOLO se caracteriza por componerse de niveles de complejidad de manera estructural y jerárquica donde cada uno de estos niveles responde al procesamiento de información de forma progresiva en el aprendizaje (Difabio, 2010). Para Biggs y Tang (2011) existen dos fases que comprenden la taxonomía SOLO, una de ellas corresponde a la fase cuantitativa y la otra a la fase cualitativa, las cuales a su vez cuentan con niveles específicos que responden a las características del aprendizaje como se muestra en la Figura 5.

Figura 5. Niveles de la Taxonomía SOLO



Nota. Tomada de Biggs y Tang (2011)

1. Fase cuantitativa: esta fase se interpreta desde la cantidad de información que puede recolectar un estudiante con un bajo nivel de profundidad sin conseguir un aprendizaje significativo.
 - a) Nivel preestructural (P): la información que brindan los estudiantes es errónea o inexistente frente a la temática.
 - b) Nivel uniestructural (U): los estudiantes proporcionan información a partir de aspectos poco relevantes o asumidos por sus conocimientos previos.
 - c) Nivel multiestructural (M): la información que recolectan los estudiantes es caracterizada y organizada de forma secuencial para dar respuestas coherentes.
2. Fase cualitativa: Esta fase hace énfasis en la profundidad y uso correcto de la información recolectada para alcanzar los objetivos planteados.
 - a) Nivel relacional (R): El estudiante relaciona entre si varios aspectos siguiendo una secuencialidad y coherencia que contribuye a la comprensión y análisis de la temática.
 - b) Nivel abstracto ampliado (EA): Este nivel es el de mayor complejidad en el proceso de aprendizaje, los estudiantes deben contar con el nivel anterior y son capaces de ir más allá realizando procedimientos relacionados a la

información recolectada resultando en un análisis profundo que enriquecen las respuestas.

Para la construcción de la rúbrica evaluativa que se describe en la Tabla 5 se omitió el primer nivel de la taxonomía SOLO (preestructural) debido a que este nivel hace referencia a la información inexistente por parte de los estudiantes, sin embargo, los profesores en formación cuentan con fundamentos conceptuales previos de esta temática provenientes de otros espacios académicos que cuentan con núcleos problema o áreas temáticas referentes al equilibrio químico ácido-base.

Tabla 5. Rúbrica evaluativa para el momento 2 y 4 según los niveles de la taxonomía SOLO.

Nivel	Abordaje sistemático de los equilibrios	Abordaje logarítmico de los equilibrios
Uniestructural	Identifica las especies químicas presentes en el sistema ácido-base tales como: la base conjugada, el ácido conjugado, los protones e hidroxilos	Identifica las especies químicas presentes en el sistema ácido-base tales como: la base conjugada, el ácido conjugado, los protones e hidroxilos
Multiestructural	Describen secuencialmente los equilibrios presentes en el sistema ácido-base con sus respectivas constantes de equilibrio para plantear el balance de material y electroneutralidad	Describen secuencialmente los equilibrios presentes en el sistema ácido-base con sus respectivas constantes de equilibrio para plantear el balance de material
Relacional	Organizan los equilibrios presentes en el sistema ácido-base para describir el balance de material y electroneutralidad teniendo en cuenta aspectos tales como: el factor de protonación del anión (F.H.A.), las especies aniónicas y catiónicas, y la obtención del algoritmo matemático con los respectivos fundamentos algebraicos	Organizan los equilibrios presentes en el sistema ácido-base para describir el balance de material teniendo en cuenta la obtención del algoritmo matemático con los respectivos fundamentos algebraicos para cada especie presente en el sistema
Abstracto Ampliado	Interpretan las curvas de valoración construidas por	Interpretan los diagramas logarítmicos construidos por

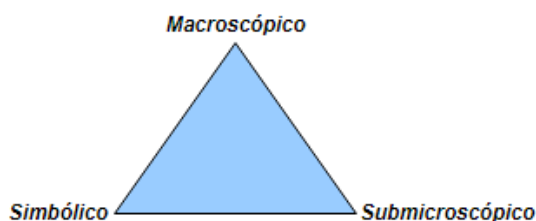
medio de los constructos anteriores para el sistema ácido-base teniendo en cuenta aspectos como: los puntos de equivalencia, los puntos de inflexión	medio de los constructos anteriores para el sistema ácido-base teniendo en cuenta aspectos como: rango de predominancia de las especies, puntos de intercepción entre especies, los pKa
--	---

Nota. Elaboración propia

6.2.4. Fase 4: Evaluación de las representaciones

Para la evaluación de las representaciones que realizaron los profesores en formación se establecieron unos parámetros para relacionar el nivel de representación en la química que el grupo tuvo al realizar las actividades propuestas en la secuencia didáctica. Los niveles descritos en la Figura 6 fueron los propuestos por Johnston y se tuvieron en cuenta para la evaluación de las representaciones en química, dichos niveles se definen como: macroscópico, submicroscópico y simbólico, que a su vez los organiza en un triángulo para relacionarlos desde lo perceptible a lo imperceptible (Toro, 2023).

Figura 6. Los tres niveles de representación en la química (Johnstone, 1991)



Nota. Tomado y adaptado de Santos y Arroio, 2016.

De acuerdo con los tres niveles de representación en la química, el nivel macroscópico corresponde a los objetos relacionados con la química o a experiencias perceptibles que pueden hacer parte del proceso de formación de los estudiantes, el nivel submicroscópico se basa en describir lo observado en el nivel macroscópico a nivel imperceptible (Santos y Arroio, 2016) y el nivel simbólico

corresponde a las ecuaciones químico-matemáticas, fórmulas, gráficas y modelos que pueden describir los dos niveles anteriores (Toro, 2023). A continuación se presenta la rúbrica de evaluación para los niveles de representación en la química para el momento 6 de la secuencia didáctica.

Tabla 6. Elementos para evaluar el nivel de representación en la química.

Nivel	Características del nivel	Criterios de representación
Macroscópico	Macroscópico	Describe fenómenos químicos en términos de propiedades observables a simple vista o mediante instrumentos de medición.
	Macroscópico-Submicroscópico	Relaciona las observaciones macroscópicas con explicaciones a nivel submicroscópico, conectando propiedades macroscópicas con la estructura y comportamiento de las partículas subatómicas y moleculares.
	Macroscópico-Simbólico	Utiliza símbolos y fórmulas para representar e interpretar fenómenos químicos observables a simple vista, como ecuaciones químicas, fórmulas estructurales, diagramas, etc.
Submicroscópico	Submicroscópico	Describe fenómenos químicos en términos de la estructura y comportamiento de átomos, moléculas y partículas subatómicas, sin considerar directamente las observaciones macroscópicas.
	Submicroscópico-Macroscópico	Relaciona las explicaciones a nivel submicroscópico con las observaciones macroscópicas, explicando cómo la estructura y comportamiento de las partículas subatómicas y moleculares dan lugar a las

		propiedades macroscópicas observables.
	Submicroscópico-Simbólico	Utiliza símbolos y fórmulas para representar fenómenos químicos a nivel submicroscópico como fórmulas químicas, estructuras moleculares, etc.
Simbólico	Simbólico	Representa fenómenos químicos mediante símbolos y fórmulas, sin hacer referencia directa a observaciones macroscópicas o explicaciones submicroscópicas.
	Simbólico- Macroscópico	Relaciona las representaciones simbólicas con las observaciones macroscópicas, explicando cómo las ecuaciones químicas y las fórmulas representan y predicen fenómenos observables a simple vista.
	Simbólico-Submicroscópico	Utiliza símbolos y fórmulas para representar y comunicar fenómenos químicos a nivel submicroscópico, conectando las representaciones simbólicas con la estructura y comportamiento de las partículas subatómicas y moleculares.

Nota. Elaboración propia

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1. Identificación de referentes conceptuales

Para la identificación de los referentes conceptuales se tuvieron en cuenta los criterios de búsqueda descritos en la metodología de investigación principalmente para el desarrollo de la secuencia didáctica a partir de la planificación, ejecución y evaluación de actividades con sus debidos elementos teóricos, gráficos y/o tablas pertinentes con cada apartado relacionado al modelo 3P, taxonomía SOLO y niveles de representación en química. Para el desarrollo de la secuencia didáctica se presentaron dos (2) momentos clave en el diseño, construcción e intervención de esta, donde tendrían relevancia los referentes conceptuales que se identificaron en su desarrollo, en ese orden de ideas los momentos fueron:

1. Diseño: referente a la recolección de documentos relacionados a los modelos didácticos y disciplinares que hicieron parte del diseño de la secuencia didáctica
2. Desarrollo: este momento se enfocó en la información recolectada para su posterior uso en cada etapa de la secuencia didáctica, relacionando la teoría con situaciones problema enfocadas a una química en contexto para la temática del equilibrio químico ácido-base y la construcción de los diagramas pertinentes

Como se muestra en la Tabla 7, la identificación de estos referentes conceptuales facilitó el diseño, elaboración e intervención de la secuencia didáctica con el grupo de profesores en formación guiándolos hacia la descripción, construcción e interpretación de curvas de valoración y diagramas pH-Log_c para los equilibrios químicos ácido-base.

Tabla 7. Principales referentes conceptuales identificados para el diseño, elaboración e intervención de la secuencia didáctica.

Referentes conceptuales	Diseño	<u>Representaciones pictóricas</u>	Las representaciones pictóricas como problema de aprendizaje. El caso de equilibrio químico. Lombardi (2009)	
		<u>Abordaje Logarítmico</u>	Expresión gráfica de las reacciones químicas. Baeza (2010)	Diagramas ácido-base. Kahlert y Scholz (2013)
		<u>Abordaje Sistemático</u>	Análisis cuantitativo químico. Harrys (2010)	Fundamentos de química analítica. Equilibrio iónico y análisis químico. Clavijo (2002)
		<u>Alineamiento Constructivo y Modelo 3P</u>	Enseñanza para el aprendizaje de calidad en la universidad. Biggs (2011)	Calidad del aprendizaje universitario. Biggs (2006)
		<u>Diseño de Secuencias Didácticas</u>	Secuencias de aprendizaje. ¿Un problema del enfoque de competencias o un reencuentro con perspectivas didácticas? Díaz-Barriga (2013)	
	Desarrollo	<u>Planificación de actividades</u>	Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria. Sanmartí (2000)	
		<u>Evaluación de actividades</u>	Uso de la taxonomía SOLO en situaciones de	Enseñanza para el aprendizaje de

			muestreo: un ejemplo de aplicación. Rodríguez y Fernández (2018)	calidad en la universidad. Biggs (2011)
		<u>Etapas de la Secuencia didáctica</u>	Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos. Rangel, Montañez, Luévanos y Balagurusamy (2015)	Optimización y estandarización del método analítico para la determinación de fosfatos en Coca-Cola Zero. Ramos (2014)

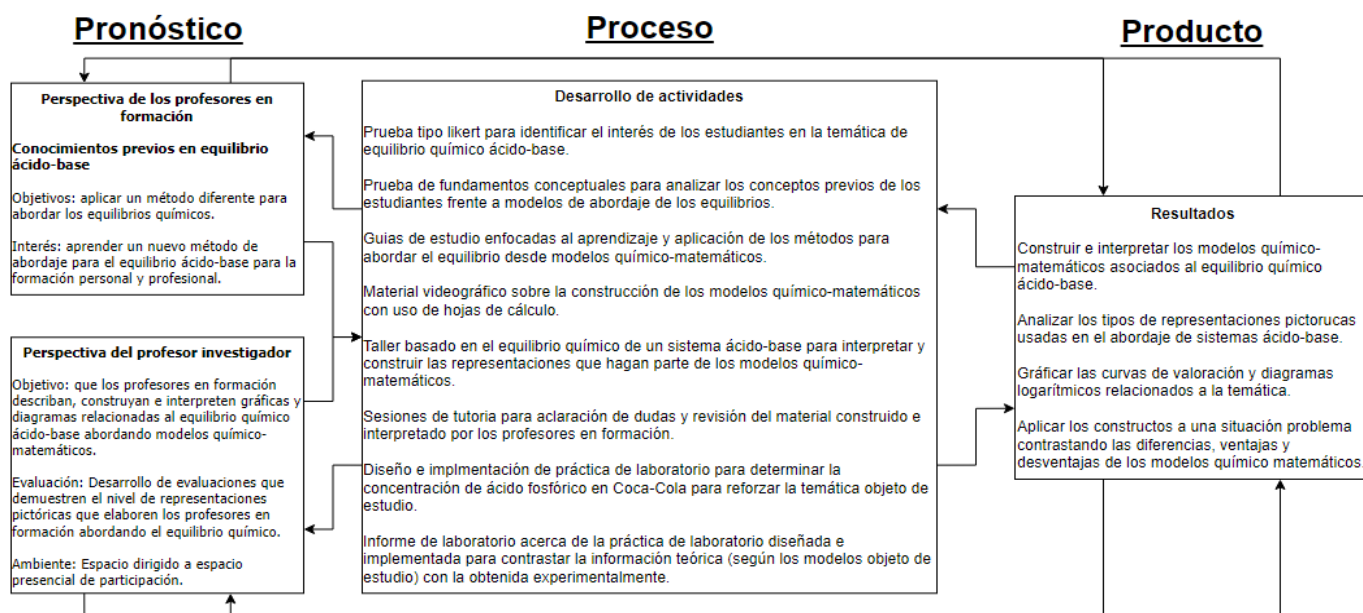
Nota. Elaboración propia

Los referentes conceptuales del diseño, aportaron las bases necesarias para establecer la secuencia didáctica contextualizada en el alineamiento constructivo y el modelo 3P para los aspectos pedagógicos, didácticos y disciplinares, donde a raíz de lo anterior se delimitaron los referentes más importantes para las representaciones externas pictóricas, el alineamiento constructivo ligado al modelo 3P, el diseño de secuencias didácticas y los abordajes objeto de estudio del equilibrio químico ácido-base. Por otro lado para el desarrollo se destacaron los referentes conceptuales para la elaboración e implementación de la secuencia didáctica, por un lado la planificación y evaluación de actividades, y por el otro lado, se recolectó la información necesaria para aplicar situaciones problema junto con la química en contexto para orientar las actividades en el aula de clase y laboratorio de química. La identificación de referentes conceptuales dio los elementos requeridos para analizar los tipos de representaciones externas pictóricas y modelos descriptivos del equilibrio químico ácido-base que construyeron un grupo de profesores en formación en química.

7.2. Desarrollo de la secuencia didáctica

Desde la propuesta de Biggs (2011), la secuencia didáctica se encaminó hacia el modelo 3P, que con sus etapas permitieron relacionar las características más relevantes de los profesores en formación y el profesor investigador a través del planteamiento de todo el proceso de enseñanza-aprendizaje, las actividades desarrolladas y los resultados académicos durante el proceso que simultáneamente, se articulan a la taxonomía SOLO sobre la temática de equilibrio químico ácido-base, tal como lo describe la Figura 7.

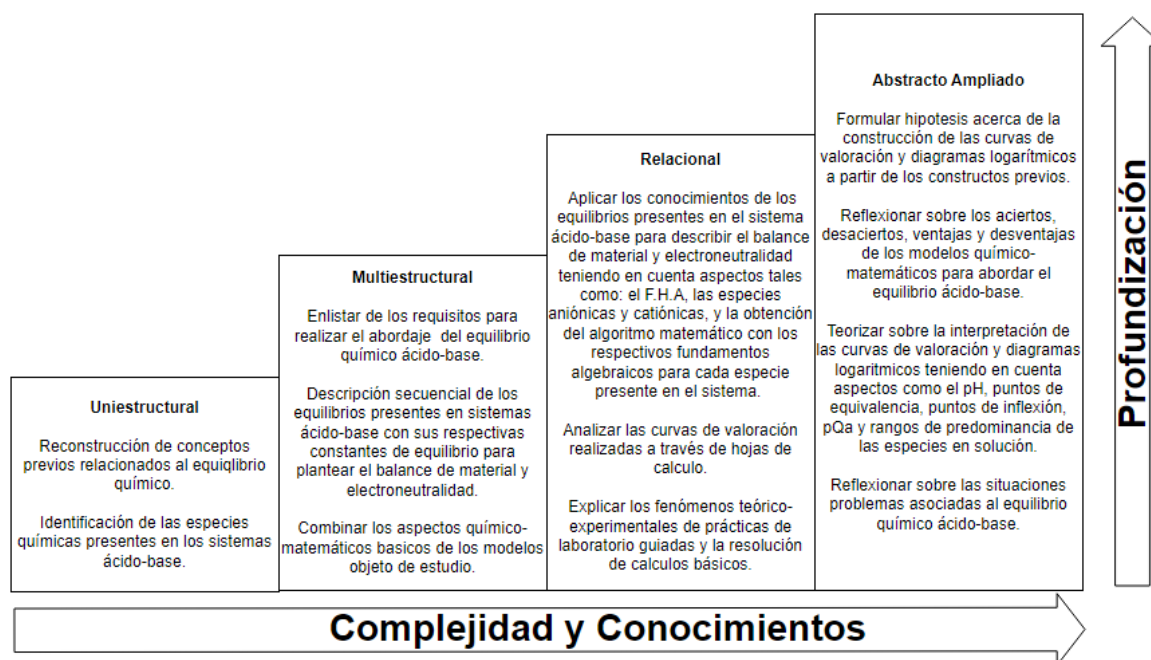
Figura 7. Modelo 3P aplicado a la secuencia didáctica para la enseñanza del equilibrio químico ácido-base.



Nota. Tomado y adaptado de Reyes y Riveros (2022)

En este caso la taxonomía SOLO brinda las características de la evaluación para categorizar el proceso de enseñanza-aprendizaje de los constructos conceptuales, metodológicos e interpretativos a partir del aumento de la complejidad de la temática y la profundidad que esta tomó a partir de las actividades realizadas por parte de los profesores en formación como se muestra en la Figura 8.

Figura 8. Taxonomía SOLO aplicada a la secuencia didáctica para la enseñanza del equilibrio químico ácido-base.



Nota. Elaboración propia.

7.2.1. Etapa pronóstico

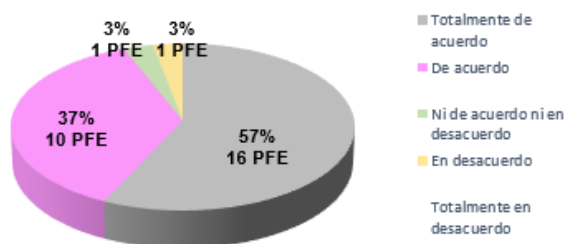
En esta etapa se presentan los resultados e información recolectada de los dos momentos iniciales en la secuencia didáctica referentes a la prueba tipo *Likert* fue resuelta forma individual y la prueba de fundamentos conceptuales que se aplicó de forma grupal.

a) Evaluación del momento 1

La percepción de los estudiantes frente al equilibrio químico ácido-base es en general, ampliamente positiva donde a partir de los tres (3) criterios de la prueba *Likert* asociados al interés, fundamentación conceptual y descripción de los objetivos clave, se identificó un buen potencial para el desarrollo de la temática con los profesores en formación. Considerando lo anterior, la tendencia de los

profesores en formación hacia las afirmaciones referentes al interés en la temática fue de 16 al estar totalmente de acuerdo y 10 al estar de acuerdo con las afirmaciones como se presenta en la Figura 9, donde se presenta el porcentaje, número de profesores en formación (PFE) que participaron en la prueba.

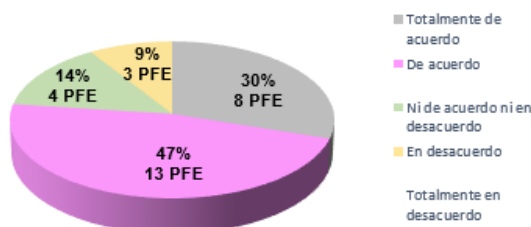
Figura 9. Consolidad de las afirmaciones sobre el interés en la temática por parte de los profesores en formación.



Nota. Elaboración propia

Las opiniones recibidas para las afirmaciones basadas en la fundamentación conceptual de los profesores en formación se recogen en la Figura 10 donde en su mayoría fue estar de acuerdo y totalmente de acuerdo con un total de 13 y 8 opiniones, aunque 3 profesores en formación de este grupo de 28 participantes no se encuentran seguros de sus fundamentos conceptuales, mientras que los 4 participantes restantes se mantienen neutros en su opinión frente al equilibrio ácido-base.

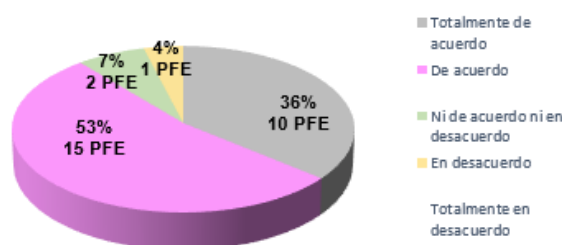
Figura 10. Consolidado de las afirmaciones sobre los fundamentos conceptuales en la temática por parte de los profesores en formación.



Nota. Elaboración propia.

Por último, igual que en los anteriores criterios de la prueba, la opinión de los profesores en formación hacia la descripción de objetivos clave al abordar el equilibrio químico es favorable ya que el 89% del grupo, es decir 25 participantes consideraron la importancia de estos objetivos al estar la opinión dirigida en su mayoría a estar totalmente de acuerdo y de acuerdo con las afirmaciones como se presenta en la Figura 11.

Figura 11. Consolidado de las afirmaciones sobre la descripción de objetivos clave en la temática por parte de los profesores en formación.



Nota. Elaboración propia.

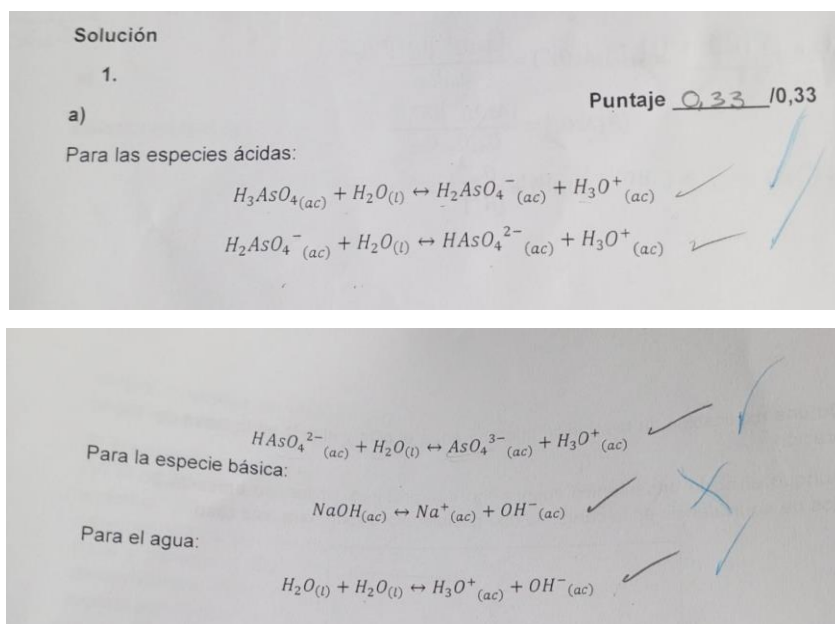
Durante el desarrollo de la secuencia didáctica con esta información recolectada del primer momento, se puede afirmar que la temática cumple con algunos de los criterios que propone Biggs (2011) ya que despierta interés en los profesores en formación, cuentan con fundamentos conceptuales para abordar los sistemas ácido-base, y son conscientes de la importancia de plantear objetivos clave para el proceso de enseñanza-aprendizaje del equilibrio químico.

b) Evaluación del momento 2

Esta prueba al estar dividida en dos (2) apartados, el primero propuesto como un apartado parcialmente resuelto de un sistema ácido-base con algunos criterios para su revisión y calificación, que en términos generales se identificaron varios aspectos por mejorar en los procedimientos como por ejemplo el primer ítem de planteamiento de equilibrios presentes en el sistema todos los estudiantes hicieron

un planteamiento correcto para las especies débiles pero de igual manera el mismo tratamiento para las especies fuertes fue realizado de manera incorrecta por todos los profesores en formación. Lo descrito anteriormente se muestra en la Figura 12. para el planteamiento de los equilibrios en el sistema de ácido ortoarsénico e hidróxido de sodio.

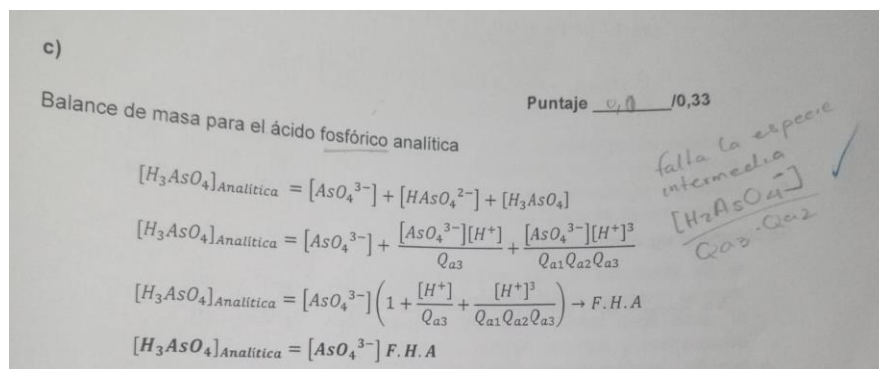
Figura 12. Prueba calificada del grupo 1 para el planteamiento de los equilibrios.



Nota. Elaborado por grupo 1.

Para el segundo ítem los 28 profesores en formación tuvieron errores al no identificar la relación entre el valor de Q como constante de equilibrio, encontrando una falencia entre la teoría y el planteamiento químico-matemático para las constantes de acidez y basicidad. En el tercer y cuarto ítem referentes al balance de material y electroneutralidad, tenía para su revisión en la prueba la falta de una de las especies presentes en el sistema, donde el umbral de estudiantes que acertaron con el error fue mayor, siendo un total de 17 estudiantes, como ejemplo para la afirmación anterior se tomará lo que realizó el grupo 2 en la Figura 13.

Figura 13. Prueba calificada del grupo 2 para el balance de material del sistema.

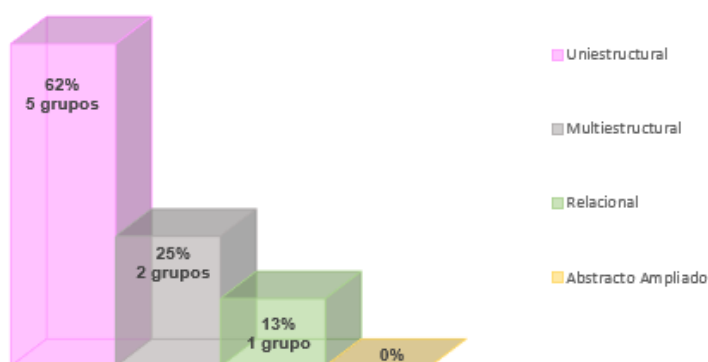


Nota. Elaborado por grupo 2.

Para el segundo apartado relacionado con la interpretación textual y gráfica se tuvo un error de los 28 profesores en formación donde la razón principal de este error se debió al primer abordaje de un diagrama logarítmico por parte de los participantes y toda la información gráfica que puede ser extraída de este.

La Figura 14. expresa el balance porcentual de los profesores en formación y nivel de comprensión teniendo en cuenta los niveles de la taxonomía SOLO para el abordaje del equilibrio químico ácido-base

Figura 14. Consolidado de los resultados de la prueba de fundamentos conceptuales con base en los niveles de la taxonomía SOLO.



Nota. Elaboración propia.

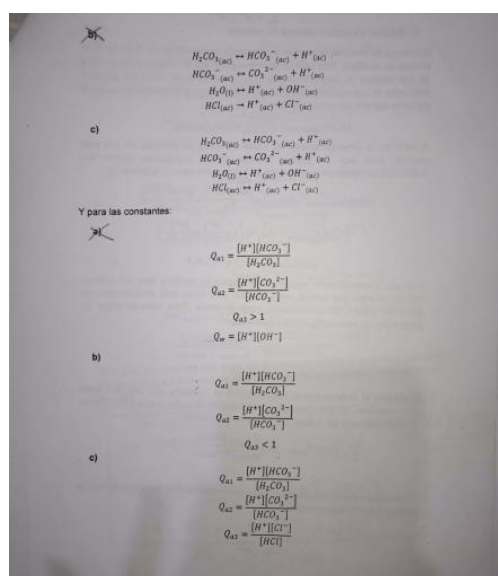
Con los resultados recolectados se genera una necesidad por impulsar los aspectos por mejorar identificados, que por medio del modelo 3P es ideal en su primera etapa

para proponer los objetivos para el proceso de enseñanza-aprendizaje, y por parte de la taxonomía SOLO se demuestra que los estudiantes, están en su mayoría, en el nivel más básico de comprensión y profundización.

7.2.2. Etapa proceso

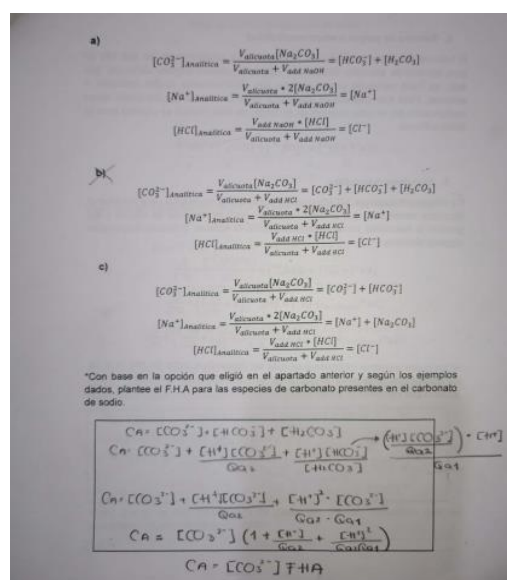
En la etapa de proceso, se realizaron las intervenciones educativas, material videográfico, tutorías y una práctica de laboratorio como herramientas pedagógico-didácticas para desarrollar el abordaje de sistemas relacionados al equilibrio químico ácido-base, tomando cada uno de los pasos que comprenden los modelos químico-matemáticos (sistemático y logarítmico), adaptándolos a partir de las guías de estudio resueltas durante las sesiones de clase y aplicando los criterios necesarios para construir las curvas de valoración y diagramas logarítmicos usando hojas de cálculo en Excel para posteriormente proponer una interpretación de dichas representaciones desde parámetros químicos, donde a modo de ejemplo, en la Figura 15, 16, 17 y 18 se muestran algunas de las interpretaciones que realizó el grupo 1.

Figura 15. Guía de estudio grupo 1



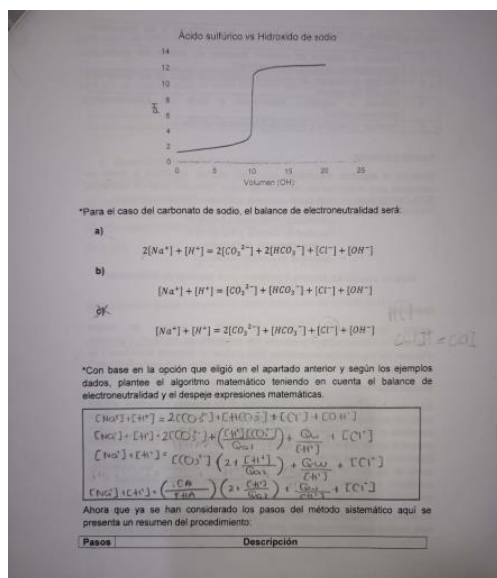
Nota. Elaborado por el grupo 1.

Figura 16. Guía de estudio grupo 1



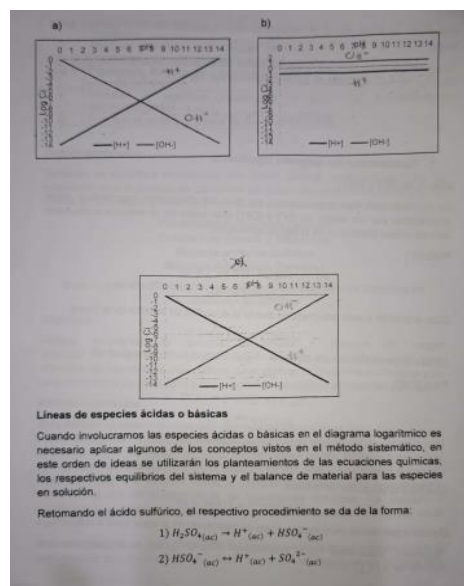
Nota. Elaborado por el grupo 1.

Figura 17. Guía de estudio grupo 1



Nota. Elaborado por el grupo 1.

Figura 18. Guía de estudio grupo 1



Nota. Elaborado por el grupo 1.

Los resultados de las guías de estudio, fueron clave para establecer un mayor nivel de representación, profundización y comprensión para evaluar estos aspectos como lo propone Biggs (2011) según la taxonomía SOLO y Johnstone (1991) según el nivel de representación para las actividades propuestas en la etapa producto de las cuales se recogió la información necesaria y pertinente a la investigación.

7.2.3. Etapa producto

Para la etapa final, se recolectó la información de como los estudiantes construyeron e interpretaron las curvas de valoración resultantes de los modelos químico-matemáticos en dos (2) momentos distintos, uno de ellos referente al taller de sistemas ácido-base y el otro al informe de laboratorio.

1. Evaluación del momento 5

Este momento corresponde al taller de sistemas ácido-base asociado al abordaje del equilibrio químico desde la construcción de los dos modelos químico-

matemáticos, sus correspondientes curvas de valoración e interpretación de estas mismas.

a) Construcción de modelos químico-matemáticos

Con la información recolectada se evidenció una mejora en la precisión de los conceptos de equilibrio químico, como lo es el planteamiento del sistema en equilibrio para obtener las respectivas constantes, y proponer el balance de material y electroneutralidad para las especies correspondientes. Todos los grupos de profesores en formación demostraron poseer un nivel abstracto ampliado en el planteamiento de equilibrios mostrando un buen dominio y conocimiento de la temática al relacionar el comportamiento de la especie como fuerte o débil con su reacción (reversible o irreversible) y el cálculo de las constantes Q, como lo planteó el grupo 2 en la Figura 19. en su primera demostración químico-matemática.

Figura 19. Planteamiento de equilibrios del grupo 2 para el sistema H_3Cit .

EQUILIBRIOS IMPLICADOS



Sus constantes

$$1) Q_{a1} = \frac{[H^+][H_2Cit^-]}{[H_3Cit]} = 10^{-3,09}$$

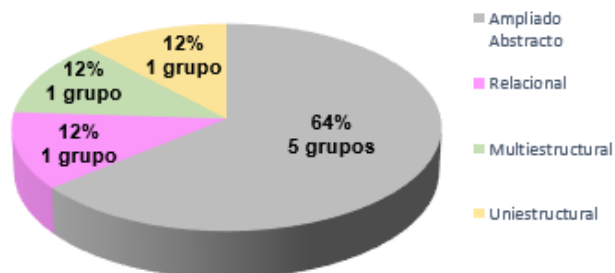
$$2) Q_{a2} = \frac{[H^+][HCit^{2-}]}{[H_2Cit^-]} = 10^{-4,75}$$

$$3) Q_{a3} = \frac{[H^+][Cit^{3-}]}{[HCit^{2-}]} = 10^{-5,41}$$

Nota. Elaborado por el grupo 2.

Teniendo en cuenta la información anterior, se presentó un nivel ampliado abstracto para 5 grupos, y para los niveles uniestructural, multiestructural y relacional se presentaron estos resultados para 1 grupo en cada nivel, tal como se muestra en la Figura 20.

Figura 20. Consolidado de la evaluación para el planteamiento de los equilibrios del sistema H_3Cit y sus correspondientes constantes.



Nota. Elaboración propia.

En el balance de material y electroneutralidad para obtener el algoritmo matemático, se identificaron dificultades en los profesores en formación que corresponden a 2 grupos que aunque plantearon de manera correcta los equilibrios, el despeje de las expresiones para cada una de las especies se realizó de manera incorrecta. Estos grupos demostraron un nivel inferior en la rúbrica de evaluación propuesta, mientras que los otros grupos demostraron el nivel de comprensión más alto cuando proponen estos balances para las especies del sistema por ambos modelos químico-matemáticos, tal cual lo plantea el grupo 3 a continuación en la Figura 21 y 22 para el balance de material y electroneutralidad correspondiente a los métodos objeto de estudio.

Figura 21. Balance de material y electroneutralidad elaborado por el grupo 3 para el sistema H_3Cit .

BALANCE DE MATERIAL

$$\begin{aligned}
 [H_3Cit]_{Analitica} &= [H_3Cit] + [H_2Cit^-] + [HCit^{2-}] + [Cit^{3-}] \\
 [H_3Cit]_{Analitica} &= [Cit^{3-}] + \frac{[H^+][Cit^{3-}]}{Q_{a3}} + \frac{[H^+]^2[Cit^{3-}]}{Q_{a3}Q_{a2}} + \frac{[H^+]^3[Cit^{3-}]}{Q_{a3}Q_{a2}Q_{a1}} \\
 [H_3Cit]_{Analitica} &= [Cit^{3-}] \left[1 + \frac{[H^+]}{Q_{a3}} + \frac{[H^+]^2}{Q_{a3}Q_{a2}} + \frac{[H^+]^3}{Q_{a1}Q_{a2}Q_{a3}} \right] \\
 [H_3Cit]_{Analitica} &= [Cit^{3-}] F.H.A \\
 [Cit^{3-}] &= \frac{[H_3Cit \text{ analítico}]}{(F.H.A)}
 \end{aligned}$$

BALANCE DE ELECTRONEUTRALIDAD

$$[Na^+] + [H^+] = 3[Cit^{3-}] + 2[HCit^{2-}] + [H_2Cit^-] + [OH^-]$$

ALGORITMO MATEMATICO

$$\begin{aligned}
 [Na] + [H^+] &= 3[Cit^{3-}] + 2 \left(\frac{[H^+][Cit^{3-}]}{Q_{a3}} \right) + \frac{[H^+]^2[Cit^{3-}]}{Q_{a3}Q_{a2}} + \frac{Q_w}{[H^+]} \\
 [Na] + [H^+] &= [Cit^{3-}] \left[3 + \frac{2[H^+]}{Q_{a3}} + \frac{[H^+]^2}{Q_{a3}Q_{a2}} \right] + \frac{Q_w}{[H^+]} \\
 2. [Na]_{Analítico} + [H^+] &= \left[\frac{[H_3Cit \text{ analítico}]}{(F.H.A)} \right] \left[3 + \frac{2[H^+]}{Q_{a3}} + \frac{[H^+]^2}{Q_{a3}Q_{a2}} \right] + \frac{Q_w}{[H^+]}
 \end{aligned}$$

Nota. Elaborado por el grupo 3

Figura 22. Balance de material en el método logarítmico elaborado por el grupo 3 para el sistema H_3Cit .

BALANCE DE MATERIAL

$$[H_3Cit]^- = [H_3Cit] + [H_2Cit^-] + [HCit^{2-}] + [Cit^{3-}]$$

Para $[H_3Cit]$:

$$\begin{aligned}
 [H_3Cit]^- &= [H_3Cit] + \frac{Q_{a1}Q_{a2}Q_{a3}[H_3Cit]}{[H^+]^3} + \frac{Q_{a1}Q_{a2}[H_3Cit]}{[H^+]^2} + \frac{Q_{a1}[H_3Cit]}{[H^+]} \\
 \text{Log}[H_3Cit]^- &= \text{Log} \left(\frac{[H_3Cit]^-}{1 + (10^{3pH} Q_{a1}Q_{a2}Q_{a3} + 10^{2pH} Q_{a1}Q_{a2} + 10^{pH} Q_{a1})} \right)
 \end{aligned}$$

Para $[H_2Cit^-]$:

$$\begin{aligned}
 [H_2Cit^-] &= [H_2Cit^-] + \frac{Q_{a3}Q_{a2}[H_2Cit^-]}{[H^+]^2} + \frac{Q_{a2}[H_2Cit^-]}{[H^+]} + \frac{[H^+][H_2Cit^-]}{Q_{a1}} \\
 \text{Log}([H_2Cit^-]) &= \text{Log} \left(\frac{[H_2Cit^-]}{1 + (10^{2pH} Q_{a3}Q_{a2} + 10^{pH} Q_{a2} + 10^{pH} Q_{a1})} \right)
 \end{aligned}$$

Para $[HCit^{2-}]$:

$$\begin{aligned}
 [HCit^{2-}] &= [HCit^{2-}] + \frac{Q_{a3}[HCit^{2-}]}{[H^+]} + \frac{[H^+][HCit^{2-}]}{Q_{a2}} + \frac{[H^+]^2[HCit^{2-}]}{Q_{a1}Q_{a2}} \\
 \text{Log}([HCit^{2-}]) &= \text{Log} \left(\frac{[HCit^{2-}]}{1 + (10^{pH} Q_{a3} + 10^{pH} Q_{a2} + 10^{pH} Q_{a1})} \right)
 \end{aligned}$$

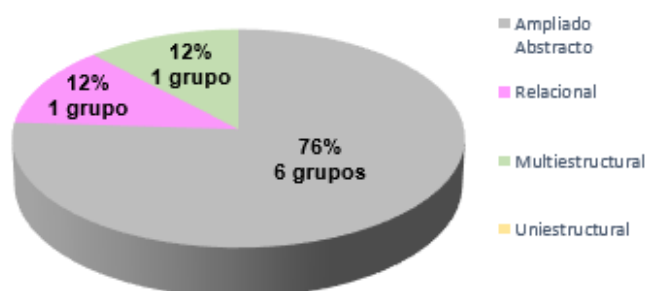
Para $[Cit^{3-}]$:

$$\begin{aligned}
 [Cit^{3-}] &= [Cit^{3-}] + \frac{[H^+]^3[Cit^{3-}]}{Q_{a1}Q_{a2}Q_{a3}} + \frac{[H^+]^2[Cit^{3-}]}{Q_{a2}Q_{a3}} + \frac{[H^+][Cit^{3-}]}{Q_{a3}} \\
 \text{Log}([Cit^{3-}]) &= \text{Log} \left(\frac{[Cit^{3-}]}{(1 + 10^{3pH} Q_{a1}Q_{a2}Q_{a3} + 10^{2pH} Q_{a2}Q_{a3} + 10^{pH} Q_{a3})} \right)
 \end{aligned}$$

Nota. Elaborado por el grupo 3.

El consolidado de la evaluación propuesta para la construcción del balance de especies y electroneutralidad para el sistema H_3Cit se muestra en la Figura 23.

Figura 23. Consolidado de la evaluación del balance de material y electroneutralidad para el sistema H_3Cit .

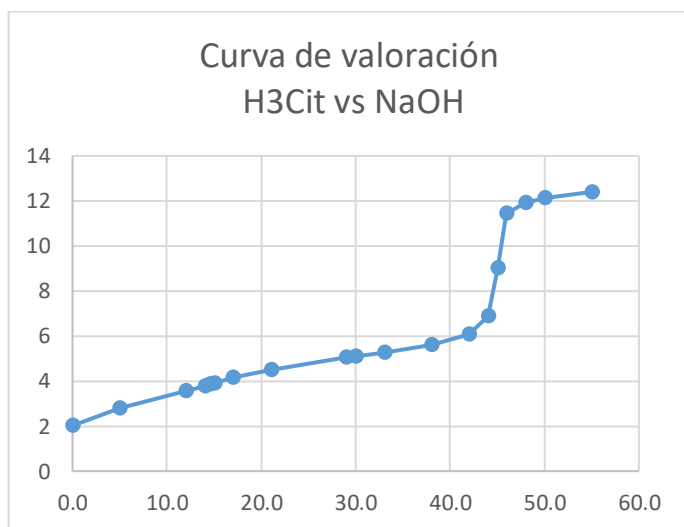


Nota. Elaboración propia.

b) Construcción de las curvas de valoración y diagramas logarítmicos

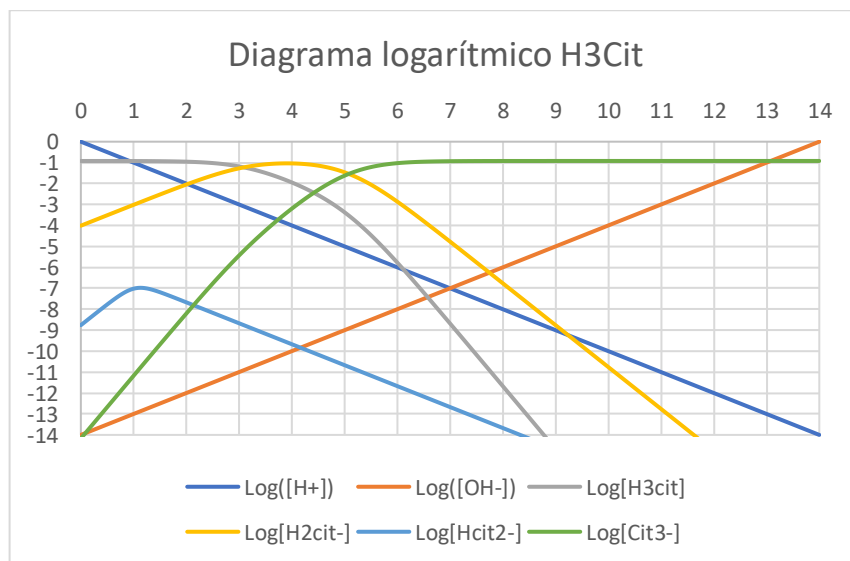
Para la construcción de las gráficas correspondientes a los sistemas ácido-base se presentó una dificultad a nivel general, la cual se basó en la transcripción de los algoritmos matemáticos a las hojas de cálculo en Excel debido a la rigurosidad de los signos presentes en las ecuaciones (resaltando el uso de los paréntesis). En este orden de ideas los profesores en formación lograron desarrollar las curvas de valoración y diagramas pertinentes al sistema con alta precisión en el uso, donde sólo un grupo tuvo dificultades debido a los ejes de la gráfica. A continuación, en la Figura 24. se muestra la curva de valoración correspondiente al sistema de H_3Cit realizada a partir del método sistemático, mientras que en la Figura 25 se observa el diagrama logarítmico para el mismo sistema donde se presentan las especies presentes en solución y en la Figura 26 se muestra la curva de valoración del sistema a partir del método logarítmico, donde estas representaciones gráficas correspondientes a los dos modelos químico-matemáticos fueron realizadas por el grupo 4.

Figura 24. Curva de valoración realizada por el grupo 4 abordando el método sistemático para el sistema H_3Cit .



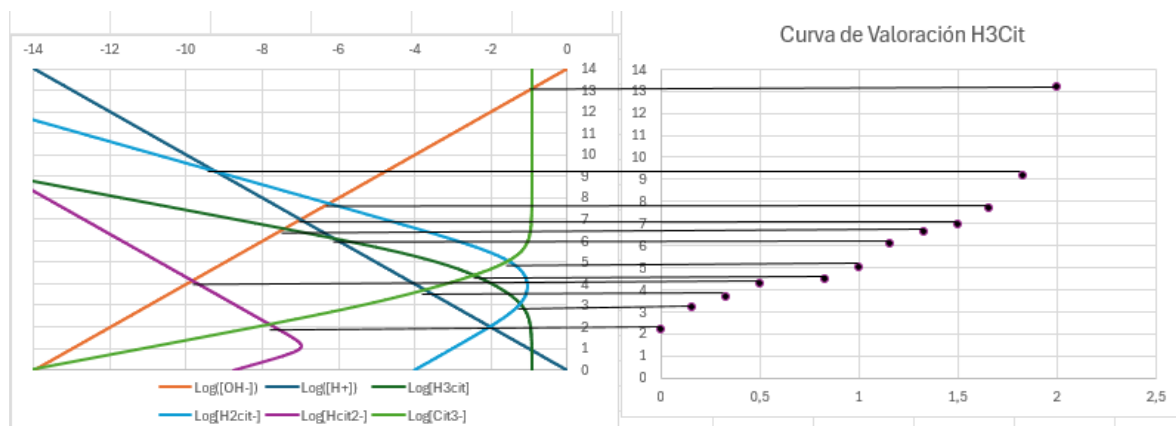
Nota. Elaborado por el grupo 4

Figura 25. Diagrama logarítmico realizado por el grupo 4 para las especies de citrato.



Nota. Elaborado por el grupo 4.

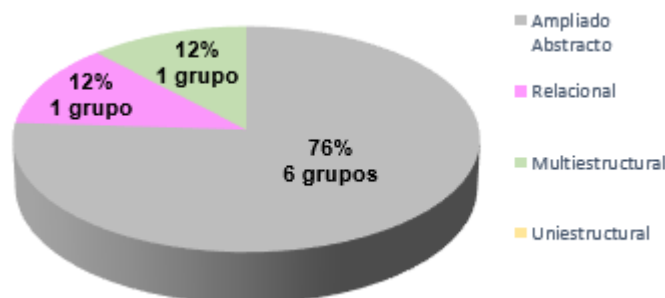
Figura 26. Curva de valoración realizado por el grupo 4 abordando el método logarítmico para el sistema H_3Cit .



Nota. Elaborado por el grupo 4.

Para la Figura 27 se presenta el consolidado de la información recolectada para la construcción de las curvas de valoración y el diagrama logarítmico para el sistema de ácido cítrico en medio alcalino que construyeron los profesores en formación, donde se comprueba como la mayoría de grupos siguen en el nivel de profundización y comprensión más alto de la taxonomía SOLO.

Figura 27. Consolidado de la evaluación para la construcción de curvas de valoración y diagramas logarítmicos para el sistema de H_3Cit en medio alcalino.



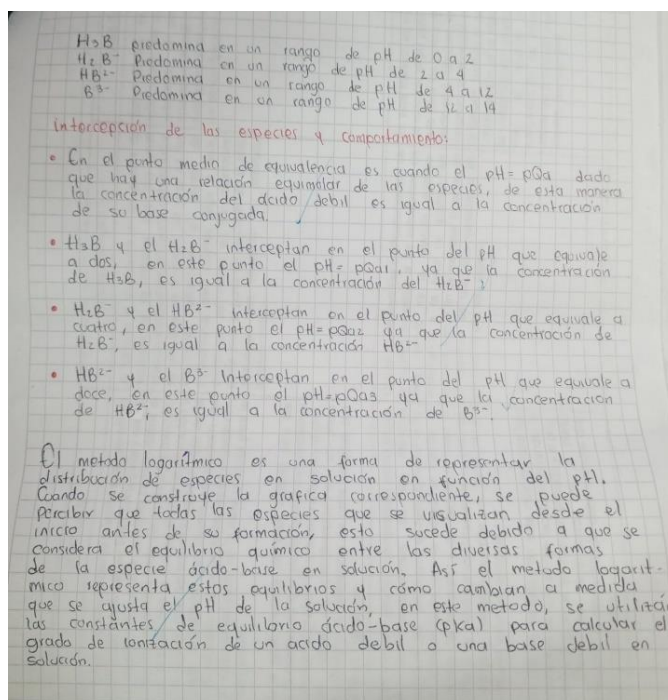
Nota. Elaboración propia.

c) Interpretación de las representaciones

El último apartado del taller de sistemas ácido-base buscaba recolectar la mayor cantidad de información posible que los profesores en formación podrían describir

a partir de la información que proporcionan las gráficas para curvas de valoración y diagramas logarítmicos. En este caso, estos resultados fueron los que tuvieron más grado de dificultad y esta estrechamente ligado a la relación teórica con las representaciones que no son suficientes para la interpretación y descripción de las gráficas referentes a los sistemas ácido-base. A modo de ejemplo en la Figura 28 se presenta la interpretación del diagrama logarítmico para el sistema ácido-base del H_3Cit en medio alcalino que realizó el grupo 1.

Figura 28. Interpretación del diagrama logarítmico para el sistema de H_3Cit en medio alcalino realizada por el grupo 1.

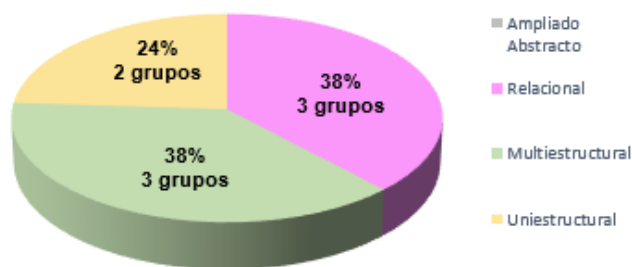


Nota. Elaborado por el grupo 1.

En este orden de ideas, el nivel de comprensión para 3 grupos de los 8 que participaron es relacional por la descripción acertada de las representaciones a partir de criterios tales como: los puntos de inflexión, puntos de equivalencia, predominancia de las especies, la influencia de pQa , la relación entre el pH y el volumen, entre otras. Sin embargo, 3 grupos lograron una interpretación superficial de los diagramas donde la descripción de las representaciones fue valorada desde

un nivel multiestructural debido a los pocos criterios utilizados para obtener información de las gráficas, y por último los 2 grupos restantes tuvieron dificultades precisamente en la interpretación, esto por el uso nulo de criterios para la descripción de las representaciones de los sistemas ácido-base y por esto se valoraron desde el nivel uniestructural. La información recolectada anteriormente se detalla en la Figura 29.

Figura 29. Consolidado de la evaluación frente a la interpretación de las curvas de valoración y diagramas logarítmicos para el sistema H_3Cit en medio alcalino.

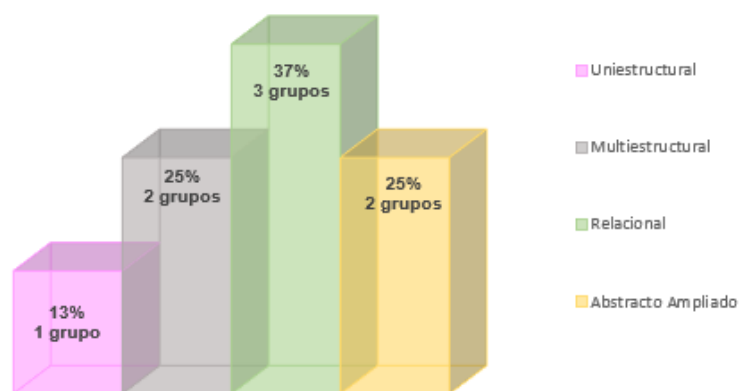


Nota. Elaboración propia.

Para el momento 5 relacionado con la construcción, descripción e interpretación de los modelos químico-matemáticos se presentaron resultados positivos para la investigación en contraste con la actividad del momento 2 debido al abordaje de los sistemas ácido-base en el momento 3 y 4 por medio de un enfoque profundo usando los modelos químico-matemáticos, y por es por esto que se puede afirmar que el diseño de la secuencia didáctica es efectivo ante el desarrollo de un proceso de enseñanza-aprendizaje que contribuye a la formación académica y profesional para los profesores en formación al cumplir con las actividades, los objetivos y criterios de evaluación.

La Figura 30 muestra el consolidado porcentual frente al abordaje del momento 4 para los profesores en formación y su nivel de comprensión teniendo en cuenta los niveles de la taxonomía SOLO para el abordaje del equilibrio químico ácido-base.

Figura 30. Consolidado de la evaluación del taller de sistemas ácido-base con respecto a los niveles de la taxonomía SOLO.



Nota. Elaboración propia.

Con los resultados para este momento, se demuestra como el nivel de los profesores en formación han pasado de estar en una fase cuantitativa y superficial a una fase cualitativa y profunda en la que tienen un razonamiento, análisis y fundamentos mayores al momento de abordar situaciones problema con el equilibrio químico ácido-base.

2. Evaluación del momento 6

El momento 6 corresponde a la entrega del informe de laboratorio referente a la determinación de la concentración de ácido fosfórico en Coca-Cola en medio alcalino para construir los modelos químico-matemáticos, objeto de estudio y analizar el comportamiento de las especies en un sistema ácido-base por medio de las curvas de valoración y diagramas logarítmicos correspondientes. Para este momento, la evaluación se basó en la caracterización del nivel de representación que tienen los profesores en formación según los niveles propuestos por Johnstone (1991) en química, y para esto se construyó la Tabla 8 que resume la información obtenida del trabajo escrito de la práctica experimental que se recolectó por medio de los criterios establecidos en la metodología de investigación para cada nivel de

representación según las características de la representación pictórica que construyeran los profesores en formación.

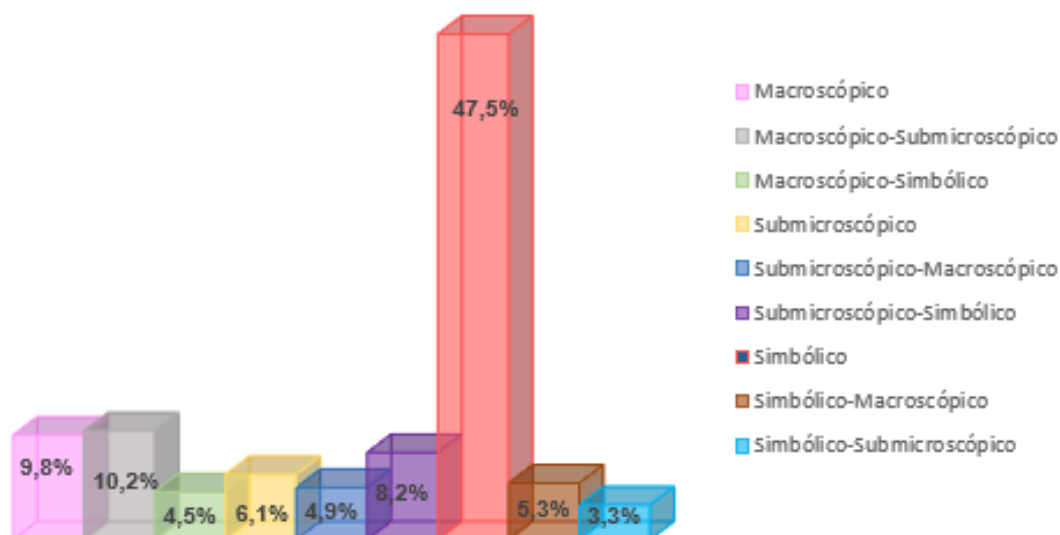
Tabla 8. Niveles de representación en química para el informe de laboratorio.

Informe de laboratorio: Determinación de ácido fosfórico en Coca-Cola									
Grupo	Niveles de Representaciones en Química								
	M	M-Su	M-Si	Su	Su-M	Su-Si	Si	Si-M	Si-Su
1	2	4	1	1	1	3	18	1	2
2	4	3	1	3	2	1	22	2	0
3	4	5	2	1	3	1	16	1	1
4	5	3	1	1	1	6	19	3	2
5	1	3	2	1	2	3	5	2	1
6	1	2	1	2	0	1	15	1	1
7	2	2	2	3	1	4	16	2	1
8	5	4	1	3	2	1	15	1	0
TOTAL	24	26	11	15	12	20	116	13	8

Nota. Elaboración propia.

Los resultados corresponden al número de representaciones pictóricas que realizaron los profesores en formación teniendo en cuenta los niveles de representación (M=Macroscópico, Su=Submicroscópico, Si=Simbólico) que teniendo en cuenta las bondades de los modelos químico-matemáticos, las representaciones que tuvieron mayor uso fueron las simbólicas debido al planteamiento de expresiones para el abordaje de los sistemas, sin dejar de lado otro tipo de representaciones pictóricas como el uso de fotografías, tablas, diagramas de flujo, gráficas, y entre otras que complementan los demás niveles. A continuación en la Figura 31 se representa el consolidado de los resultados anteriores en términos del uso de cada nivel de representación en química desde los niveles de Johnstone.

Figura 31. Consolidado de la evaluación del momento 6 según el nivel de representación en química de Johnstone.



Nota. Elaboración propia.

Al relacionar los resultados de los dos últimos momentos correspondientes a la etapa producto como final de todo el desarrollo metodológico de la investigación, se puede afirmar que la secuencia didáctica tiene grandes fortalezas para llevar a cabo un proceso de enseñanza-aprendizaje que contribuya en la formación académica y profesional de los profesores en formación, pues las actividades que comprenden la secuencia presentan información relevante y oportuna para aplicar conceptos de la química, que en este caso fue para la temática del equilibrio químico ácido-base, donde la secuencia toma un rol propio que impulsa una autonomía para impulsar los fundamentos conceptuales y experimentales dentro y fuera del aula de clases sin recurrir a los métodos de aprendizaje más típicos. En términos generales, se considera que la secuencia didáctica propuesta en esta investigación si puede contribuir a mejorar el rendimiento académico de los estudiantes desde la postura de guía que obtiene el maestro al relacionar la planeación de contenidos y desarrollo, actividades de refuerzo y la evaluación del proceso como una evidencia del aprendizaje que pudo adquirirse o debe reforzarse.

Dentro de la investigación es importante precisar sobre las ventajas del uso del alineamiento constructivo por establecer un ambiente educativo positivo para los estudiantes cuando se aborda una nueva temática, de la misma manera que el modelo 3P el cual traza una secuencialidad en la que el proceso de enseñanza-aprendizaje por parte de los estudiantes se manifiesta en cada fase. Por último, la taxonomía SOLO toma aspectos evaluativos relevantes para darle un enfoque profundo donde sea prioritario que los profesores en formación estén en un nivel abstracto ampliado. A partir de los previos elementos teóricos que surgieron de la revisión documental, se alcanzó una progresión en el aprendizaje del equilibrio químico con la secuencia como herramienta didáctica para responder a la pregunta problema propuesta para la investigación en el análisis de las representaciones externas pictóricas y modelos descriptivos del equilibrio ácido-base que construyeron un grupo de profesores en formación en química.

Atendiendo a las necesidades de la pregunta problema, el uso de las representaciones pictóricas dentro del equilibrio químico ácido-base se hace obligatorio ante la complejidad de la temática siendo así, que para la construcción, descripción e interpretación de los modelos químico-matemáticos a partir de las curvas de valoración potenciométrica los profesores en formación utilizaron representaciones macroscópicas, submicroscópicas y simbólicas para abordar situaciones problema relacionadas a los sistemas de fortaleza ácido-base

8. CONCLUSIONES

La investigación que se realizó en el marco del trabajo de grado propició la identificación de los referentes conceptuales y metodológicos para la construcción, desarrollo y evaluación de la secuencia didáctica fundamentada en el alineamiento constructivo bajo el modelo 3P para el abordaje de los equilibrios químicos ácido-base por medio de modelos químico-matemáticos y representaciones pictóricas para el análisis del nivel de comprensión en un grupo de profesores en formación. Se destaca el aporte de Biggs (2006 y 2011) para la construcción de elementos teóricos del alineamiento constructivo, modelo 3P, los cuales permitieron establecer las 3 etapas para el diseño y desarrollo de la secuencia, mientras que la taxonomía SOLO estableció los parámetros para la evaluación según sus niveles de profundización. Por otra parte el aporte disciplinar de Kahlert, Scholz (2013) y Baeza (2010) fue clave para la construcción del modelo logarítmico de la concentración molar efectiva aplicado a sistemas ácido-base para obtener diagramas pH-Log_c y curvas de valoración, y por último se utilizaron trabajos realizados por Lombardi (2009) y Johnstone (1991) para el análisis de las representaciones que realizaron los profesores en formación durante el desarrollo de la secuencia didáctica.

A partir del desarrollo de la secuencia didáctica fue posible la caracterización del nivel de comprensión de los profesores en formación demostrando en su mayoría un nivel abstracto ampliado durante el proceso de enseñanza-aprendizaje del equilibrio químico ácido-base, debido a que en la etapa inicial (pronóstico) el nivel de comprensión estaba en el nivel más bajo (Uniestructural) 5 de los grupos, mientras que en la etapa final (producto) los niveles de comprensión estuvieron inclinados hacia los niveles de profundización más altos siendo que 2 grupos se caracterizaran dentro del nivel abstracto ampliado y 3 de estos en el nivel relacional, lo cual refleja un buen balance de lo conseguido por los profesores en formación luego de abordar la secuencia didáctica con todas sus respectivas etapas.

Por medio de la evaluación del último momento de la secuencia didáctica, se demostró el uso y categorización de los niveles de representación en química, teniendo en cuenta la intensidad gráfica que posee el equilibrio ácido-base. Las representaciones que prevalecen son en el nivel simbólico lo que se atribuye a la incorporación recurrente de los modelos descriptivos para la construcción de curvas de valoración ácido-base a través del tratamiento sistemático y logarítmico para sistemas de fortaleza ácido-base en solución.

9. REFERENCIAS

- Aguirre, A. (2018). *Descripción moderna del equilibrio químico implicado en las reacciones ácido-base: mediada por una estrategia didáctica*. Tesis de maestría, Bogotá D.C. Obtenido de <http://repository.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/10339/T-O-23148.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Álvarez-Gayou, J., Camacho y Lopez, S., Maldonado, G., Trejo, C., Olguín, A., y Pérez, M. (2014). La investigación cualitativa. *XIKUA*. Obtenido de <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/tlahuelilpan/n3/e2.html>
- Arango, L., y Barrera, N. (2017). Alineamiento constructivo para la enseñanza de las leyes de los gases por medio de la resolución de problemas. *Enseñanza de las Ciencias N° Extraordinario*, 3913-3918. Obtenido de https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2017nEXTRA/23_-_ALINEAMIENTO_CONSTRUCTIVO_PARA_LA_ENSEÑANZA_DE_LAS.pdf
- Baeza, A. (2010). *Expresión gráfica de las reacciones químicas*. México D.F.: D. R.
- Bernal, J., y Guevara, J. (2021). *Elementos teóricos y metodológicos del modelo de química en contexto para el diseño de una secuencia didáctica fundamentada en el equilibrio químico redox y diagramas logarítmicos*. Tesis de pregrado, Bogotá D.C. Obtenido de <http://upnblib.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/16618/TR-ABAJO%20DE%20GRADO%20FORMATO%20FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Biggs, J. (2006). *Calidad del aprendizaje universitario*. Madrid: Narcea. Obtenido de <https://barajasvictor.files.wordpress.com/2014/05/libro-j-biggs.pdf>
- Biggs, J., y Tang, C. (2011). *Teaching for Quality Learning at University*. New York: McGraw Hill.
- Caicedo, M. (2009). Aprendizaje colaborativo mediado como estrategia didáctica para la enseñanza del equilibrio químico ácido-base. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 100-107. Obtenido de <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/214/203>
- Castillo, A., Ramírez, M., y González, M. (2013). El aprendizaje significativo de la química: condiciones para lograrlo. *Omnía, II*, 11-24. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/737/73728678002.pdf>

- Clavijo, A. (2002). *Fundamentos de química analítica. Equilibrio iónico y análisis químico*. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.
- Cubillos, S. (2020). *Alineamiento constructivo del proceso de enseñanza y aprendizaje*. Obtenido de https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/6078/2_ALINEAMIENTO_APRENDIZAJE_SCD_SICV_MMC_2020_2%20_SEGUNDA%20VERSION.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Díaz-Barriga, Á. (2013). Secuencias de aprendizaje. ¿Un problema del enfoque de competencias o un reencuentro con perspectivas didácticas? *Curriculum y formación de profesorado*, 17(3), 11-33. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/567/56729527002.pdf>
- Encinas, M. (2010). *Alineamiento constructivo de la enseñanza y su relación con la calidad del aprendizaje en estudiantes de la Escuela de Educación Secundaria, Facultad de Educación, UNAP, Iquitos-2009-II*. Tesis de maestría, Lima. Obtenido de https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/1696/Encinas_pm.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Eysenck, M., y Keane, M. (1990). *Cognitive Psychology a Student's Handbook*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Garritz, A., Gasque, L., y Martínez, A. (2005). Química universitaria. Naucalpan de Juárez, Mexico: Pearson Educación de Mexico. Obtenido de https://sitios.quimica.unam.mx/profesor/vmus/QGII/Teo/clases/Quimica_Universitaria_Cap16.pdf
- Garzón, D., y Peraza, L. (2023). *Favorecimiento y relación entre las actitudes hacia el aprendizaje de la química y la formación ciudadana desde la implementación de una cuestión sociocientífica*. Tesis de pregrado, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá D.C.
- Guerra, G., Alvarado, C., Zenteno-Mendoza, B., y Garritz, A. (2008). La dimensión ciencia-tecnología-sociedad del tema de ácidos y bases en un aula de bachillerato. *Educación Química*, 277-288.
- Harris, D. (2010). *Análisis cuantitativo químico* (Octava ed.). New York: W. H. Freeman and Company.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C., y Baptista, P. (1997). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana de México, S.A. de C.V. Obtenido de https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf

- Johnson, R., y Onwuegbuzie, A. (2004). Mixed Methods Research: A Research Paradigm Whose Time Has Come. *Educational Researcher*, 14-26.
- Johnstone, A. (1982). Macro and micro-chemistry. *School Science Review*, 377-379.
- Johnstone, A. (1993). The development of chemistry teaching: a changing response to a changing demand. *Journal of Chemical Education*, 701-705.
- Kahlert, H., y Leito, I. (2019). Generalization of Acid-Base Diagrams Based on the Unified pH-Scale. *ChemPhysChem*, 1779-1785.
- Kahlert, H., y Scholz, F. (2013). *Acid-base diagrams*. Greifswald: Springer.
- Lombardi, G. (2009). *Las representaciones pictóricas como problema de aprendizaje. El caso de equilibrio químico*. Tesis doctoral, Universidad de Burgos, Burgos.
- Lombardi, G., Caballero, C., y Moreira, M. A. (2009). El concepto de representación externa como base teórica para generar estrategias que promuevan la lectura significativa del lenguaje científico. *Revista de Investigación*, 147-186. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3761/376140381007.pdf>
- Lopez, N., y Castellanos, D. (2023). *Diseño y validación de un objeto virtual de aprendizaje soportado en las valoraciones potenciométricas de formación de quelatos*. Tesis de pregrado, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá D.C.
- Maquilón, J., y Hernández, F. (2011). Identificación de las Características del aprendizaje de los estudiantes de Educación Primaria con el cuestionario CEAPS. *Anales de Psicología*, 126-134.
- Mena, H. (2012). *Estrategia de aula para la enseñanza del concepto equilibrio químico ácido-base para estudiantes del grado once de enseñanza media*. Tesis de maestría, Medellín. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/11771/35893218.2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Oquendo, E., Velázquez, Y., Rose, C., y Cervera, N. (2022). El alineamiento constructivo para el desarrollo de la competencia científica. *Revista Interdisciplinaria de Humanidades, Educación, Ciencia y Tecnología*, 666-684.

- Orejudo, S. (2006). Reseña de "Calidad del aprendizaje universitario" de J. Biggs. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 327-331. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/274/27411311022.pdf>
- Pereira, Z. (2011). Los diseños de un método mixto en la investigación en educación: Una experiencia concreta. *Revista Electrónica Educare*, 15-29. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1941/194118804003.pdf>
- Quilez, J., Solaz, J., Castelló, M., y Sanjosé, V. (1993). La necesidad de un cambio metodológico en la enseñanza del equilibrio químico: limitaciones del principio de Le Chatelier. *Investigación y Experiencias Didácticas*, 281-288.
- Ramírez, L. (2019). *Los lenguajes de la química como mediadores en el aprendizaje del concepto enlace químico*. Tesis de Maestría, Bogotá D.C. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/69810/24695454.2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramos, R. (2014). *Optimización y estandarización del método analítico para la determinación de fosfatos en Coca-Cola Zero*. Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz. Obtenido de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/11208/MT-1432-Ramos%20Paredes%2C%20Richard%20Juan.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rangel, E., Montañez, L., Luévanos, M., y Balagurusamy, N. (2015). Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos. *Terra Latinoamericana*, XXXIII(2), 103-118. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v33n2/2395-8030-tl-33-02-00103.pdf>
- Riveros, C., y Reyes, J. (2022). *Una revisión documental sobre la espectroscopia de absorción y emisión atómica: construcción de un proyecto curricular desde el alineamiento constructivo*. Tesis de maestría, Bogotá D.C. Obtenido de <http://repository.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/17126/Tesis%20-%20Juli%20c3%a1n%20Reyes%20y%20Carlos%20Riveros.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Rodríguez, W., y Fernández, F. (2018). Uso de la taxonomía SOLO en situaciones de muestreo: un ejemplo de aplicación. *Didáctica de las Matemáticas*, 98, 105-116. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/a928f806-3018-4f28-ac29-27decd1b2e13/content>

- Rosário, P., Núñez, J., González-Pienda, J., Almeida, L., Soares, S., & Rubio, M. (2005). El aprendizaje escolar examinado desde la perspectiva del Modelo 3P de J. Biggs. *Psicothema*, 20-30. Obtenido de <https://www.psicothema.com/pdf/3059.pdf>
- Sánchez, C. (2022). *Ácidos y bases en el curriculum de la ESO y bachillerato. Identificación de problemas y propuesta de mejora*. Tesis de maestría, Valladolid. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/57579/TFM-G1701.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Sanmartí, N. (2000). *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Síntesis, S.A. Obtenido de https://www.academia.edu/40505877/Didactica_de_las_ciencias_en_la_Educacion_Secundaria_Obligatoria_Neus_Sanmarti_pdf
- Santos, V., & Arroio, A. (2016). The representational levels: Influences and contributions to research in chemical education. *Turkish Science Education*, 13, 3-18. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/301509027_The_representational_levels_Influences_and_contributions_to_research_in_chemical_education
- Sarzoza, S. (2013). Aprendizaje Desde la Perspectiva del Estudiante: Modelo Teórico de Enseñanza y Aprendizaje 3P. *Acción Pedagógica*, 114-121.
- Sarzoza, S. (2013). Aprendizaje desde la perspectiva del estudiante: Modelo Teórico de Enseñanza y Aprendizaje 3P. *Acción Pedagógica*, XXI(1), 114-121.
- Saux, G., Burin, D., & Irrazabal, N. (2015). Uso estratégico de representaciones pictóricas en un texto de ciencias con un detalle seductor en lectores con bajo conocimiento previo. *Revista Signos*, 400-424. Obtenido de <https://www.scielo.cl/pdf/signos/v48n89/a06.pdf>
- Tagle, E. (2017). *Teorías ácido-base y conceptos relacionados, un estudio exploratorio en estudiantes universitarios de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria*. Tesis doctoral, Las Palmas de Gran Canaria.
- Toro, L. (2023). *Caracterización de los niveles de representación en textos escolares utilizados para la enseñanza de reacciones químicas en grado décimo*. Tesis de pregrado, Universidad de Caldas, Manizalez.

ANEXOS

Anexo 1. Secuencia didáctica fundamentada en el alineamiento constructivo bajo el modelo 3P

Equilibrio químico ácido- base abordado desde el método sistemático y método logarítmico						
Institución: Universidad Pedagógica Nacional		Espacio académico: Métodos de Análisis Químico I		Grupo: I		
Docente: Sergio Esteban González López		Fecha: Marzo de 2024		Tiempo de ejecución: 3 Sesiones		
Competencias a fortalecer:		Describe de manera secuencial modelos químicos-matemáticos al resolver situaciones problema relacionados con los equilibrios ácido-base a través del tratamiento sistemático y el método logarítmico y sus aplicaciones al determinar la reactividad, predominancia y estabilidad desde una representación externa pictórica.				
Aprendizaje esperado:		Se espera que los estudiantes sean capaces de comprender y aplicar los conceptos de equilibrio químico utilizando el método sistemático y el método logarítmico al describir los métodos implicados en los equilibrios ácido-base, a través de representaciones pictóricas y actividades tanto en el aula como en el laboratorio de química.				
PRONÓSTICO						
Descripción de la Actividad		Objetivos	Criterio de evaluación	Materiales	Sesión-tiempo	Nivel
1. Introducción al equilibrio químico ácido-base • Prueba Likert: Se implementará una prueba tipo Likert, compuesta por un total de 10 afirmaciones categorizadas en tres secciones que brindan la información necesaria para caracterizar la percepción de los profesores en formación frente a su interés, fundamentación conceptual y descripción de objetivos clave de la temática de		Caracterizar la opinión de un grupo profesores en formación frente al abordaje de los equilibrios ácido-base mediante un	Se propone una rubrica con tres categorías de evaluación estructuradas en los niveles de: a) alto, b) intermedio y c) bajo, los cuales	Google Forms	Sesión 1 15 min	C y D

equilibrio ácido-base relacionados con su contexto educativo y en su formación profesional.	análisis de sus intereses, fundamentación conceptual y descripción de objetivos clave asociados a la temática	caracterizan cada sección de la prueba tipo Likert en función de criterios como el interés, fundamentación conceptual y descripción de objetivos clave de la temática abordada			
•Prueba de conocimientos previos: Se diseñó una prueba resuelta parcialmente, con los métodos objeto de abordaje (sistemático y logarítmico) asociados al equilibrio químico ácido-base, en particular una situación relacionada con la explotación minera de carbón en Colombia y la afectación socioambiental que generan los subproductos de algunos compuestos o especies del arsénico. La prueba consta de tres apartados, los dos primeros están resueltos, el profesor en formación debe resolver y hacer la revisión de estos apartados (enfocados al abordaje del método sistemático) identificando los errores, aciertos y realizando los comentarios pertinentes de todo el procedimiento y pasos que el método implica. Por otro lado, el tercer apartado implica la interpretación y descripción teórica de un diagrama logarítmico con su respectiva curva de valoración.	Identificar los fundamentos conceptuales de un grupo de profesores en formación frente al abordaje de los equilibrios ácido-base con los métodos químico-matemáticos objeto de estudio.	Se realiza una rubrica estructurada en dos secciones, ambas relacionadas con el análisis del sistema ácido-base. La primera sección abordará criterios para el método sistemático a partir de la secuencialidad del procedimiento que este tiene, mientras que la segunda sección abordará criterios	Prueba impresa en papel	Sesión 1 30 minutos	A, B, C y D

		relacionados con el método logarítmico. Cada criterio será evaluado en función de dos niveles: alto y bajo.			
•Presentación de los contenidos: Se efectuará una presentación del proyecto de investigación, indicando el cronograma y actividades a realizar	Intervención educativa	Intervención educativa	Power Point	Sesión 1 15 min	
PROCESO					
Actividades	Objetivos	Criterio de evaluación	Materiales	Sesión-tiempo	Nivel
2. Introducción al método sistemático: • Demostración general del método sistemático: Para fundamentar y profundizar en la temática objeto de estudio se realizará una intervención educativa centrada en la descripción, construcción e interpretación de las representaciones externas pictóricas modeladas desde el tratamiento sistemático. Se hará uso de una guía de estudio la cual está estructurada según el tratamiento sistemático de los equilibrios ácido-base presentando el caso del ácido sulfúrico en medio alcalino para ejemplificar el procedimiento del método, simultáneamente se presenta un caso ácido-base de las especies de carbonato en medio ácido para que los profesores en formación resuelvan el sistema a partir de preguntas de opción múltiple y planteamiento de algunas expresiones matemáticas a lo largo de la guía	Describir como un grupo de profesores en formación abordan de manera secuencial situaciones problema relacionados con los equilibrios químicos ácido-base a través del tratamiento sistemático según la construcción e interpretación de	Se propone la evaluación del tratamiento sistemático del equilibrio químico ácido-base a partir de la guía de estudio la cual dentro de su estructura cuenta con apartados en los que los profesores en formación deben seguir la linealidad del método para resolver el sistema	Power Point Tablero Excel	Sesión 1 60 minutos	B y C

	las curvas de valoración de los sistemas.	de las especies de carbonato en medio ácido obteniendo como resultado su respectiva curva de valoración.			
3. Introducción al método logarítmico: Para fundamentar y profundizar en la temática objeto de estudio se realizará una intervención educativa centrada en la descripción, construcción e interpretación de las representaciones externas pictóricas modeladas desde el tratamiento logarítmico. Se hará uso de una guía de estudio la cual está estructurada según el tratamiento logarítmico de los equilibrios ácido-base presentando el caso del ácido sulfúrico en medio alcalino para ejemplificar el procedimiento del método, simultáneamente se presenta un caso ácido-base de las especies de carbonato en medio ácido para que los profesores en formación resuelvan el sistema a partir de preguntas de opción múltiple y planteamiento de algunas expresiones matemáticas a lo largo de la guía	Describir como un grupo de profesores en formación abordan de manera secuencial situaciones problema relacionados con los equilibrios ácido-base a través del tratamiento logarítmico según la construcción e interpretación los diagramas logarítmicos y curvas de valoración de los sistemas.	Se propone la evaluación del tratamiento logarítmico del equilibrio químico ácido-base a partir de la guía de estudio la cual dentro de su estructura cuenta con apartados en los que los profesores en formación deben seguir la linealidad del método para resolver el sistema de las especies de carbonato en medio ácido obteniendo como resultado el diagrama logarítmico y su	Power Point Tablero Excel	Sesión 1- Sesión 2 60 minutos -60 minutos	B y C

		respectiva curva de valoración			
4. Trabajo práctico de laboratorio •Como trabajo final en el aula, se hará la presentación del trabajo de laboratorio en el que se articula lo teórico visto en el aula en relación con el aspecto experimental. En la presentación del laboratorio se realizarán los cálculos correspondientes a la preparación y estandarización de soluciones para finalizar con la valoración potenciométrica ácido-base de una solución que contiene ácido fosfórico en medio alcalino •La última sesión está enfocada en la realización de la práctica de laboratorio donde se debe tener en cuenta los aspectos generales de seguridad en este espacio, además de hacer la revisión constante del trabajo de los estudiantes para que se produzcan los menores errores posibles y se haga la toma de datos correspondiente a la valoración potenciométrica ácido-base	Intervención educativa	Intervención educativa	Power Point Tablero	Sesión 2 60 minutos	B y C
	Trabajo experimental en el laboratorio de química	Trabajo experimental en el laboratorio de química	Práctica de laboratorio	Sesión 3 120 minutos	A y C
PRODUCTO					
Actividades	Objetivos	Criterio de evaluación	Materiales	Sesión-tiempo	Nivel
5. Actividades finales •Los estudiantes deben realizar taller para el abordaje de los procedimientos y/o conceptos químico-matemáticos para la construcción, descripción e interpretación de los sistemas en equilibrio a partir de los modelos descriptivos del equilibrio ácido-base y las representaciones pictóricas para el caso del ácido cítrico en medio alcalino.	Caracterizar el nivel de comprensión que desarrolla un grupo de profesores en formación abordando el tratamiento sistemático y logarítmico de los	Se propone una rúbrica que caracteriza el nivel de comprensión que desarrolla un grupo de profesores en formación.		Extra clase	D y B

	sistemas en equilibrio ácido-base				
•Como última actividad los estudiantes deben realizar el informe de laboratorio correspondiente a la práctica de laboratorio realizada en la Universidad Pedagógica Nacional, donde se tendrán en cuenta los aspectos químico-matemáticos de los dos metodos de abordaje de los sistemas ácido-base ligados al lenguaje pictórico que usen los estudiantes como herramienta para representar algunos contenidos de la estructura del informe de laboratorio	Evaluar el abordaje teórico-experimental y el nivel de representación en química que desarrolla un grupo de profesores en formación a través del tratamiento sistemático y logarítmico del equilibrio químico ácido-base para determinar la concentración y comportamiento del sistema de ácido-base del ácido fosfórico en medio alcalino	El informe de laboratorio será evaluado bajo una rubrica en la que se tendrán en cuenta los aspectos de la estructura general de un informe según un desempeño.		Extra clase	A, B, C y D

Anexo 2. Prueba tipo LIKERT

**Universidad Pedagógica Nacional
Facultad de Ciencia y Tecnología
Departamento de Química
Métodos de Análisis Químico I**

Esta prueba se presenta como primer abordaje de un proyecto de investigación enfocado hacia el equilibrio químico ácido-base fundamentado en el alineamiento constructivo bajo el modelo 3P. Por favor diligencie el instrumento con la mayor sinceridad desde su punto de vista de profesor en formación de la Universidad Pedagógica Nacional.

De acuerdo con el instrumento, se presentan una serie de afirmaciones sobre información general hacia la temática. A partir de cada afirmación se mostrarán seis ítems diferentes para dar la respectiva respuesta.

Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
--------------------------	---------------	--------------------------------	------------	-----------------------

Indique las respuestas más afines a usted con una “x”. Utilice el menor tiempo posible de ser posible, los resultados que se obtengan de este instrumento serán de uso netamente académico. Gracias.

Núm.	Afirmación	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
1	Es importante explorar cómo los conceptos de equilibrio químico ácido-base se abordan en situaciones cotidianas para comprender mejor su relevancia y aplicabilidad en la vida real.					
2	Creo que entender el equilibrio químico ácido-base es fundamental para mi formación académica y profesional en el campo de la educación en química, ya que estos conceptos					

	son esenciales para abordar desafíos reales en la enseñanza y el aprendizaje, permitiéndome a futuro proporcionar a mis estudiantes una base sólida en química y prepararlos para enfrentar problemas y aplicaciones prácticas en la vida cotidiana y en sus futuras carreras.					
3	Estoy seguro/a de que mis conocimientos previos del equilibrio químico ácido-base me brindan una base sólida para abordar actividades educativas prácticas, como la realización de experimentos en el laboratorio con mis estudiantes, donde podremos observar y analizar de manera experimental los sistemas en equilibrio químico para reforzar su comprensión teórica.					
4	Involucrarse activamente en actividades teóricas y prácticas que exploren el equilibrio químico ácido-base son experiencias valiosas para los profesores en formación donde estas contribuyen a la comprensión y profundización de los conceptos esenciales en el equilibrio químico, lo que los prepara para enfrentar					

	desafíos reales en su carrera profesional					
5	Estoy interesado/a en adquirir nuevas estrategias y enfoques pedagógicos que me permitan comprender de manera más efectiva y aplicada el equilibrio químico ácido-base, con el fin de mejorar mi capacidad para enseñar este concepto de manera clara y accesible a mis estudiantes, promoviendo así un aprendizaje significativo y duradero en el aula.					
6	Creo que comprender el equilibrio químico ácido-base es esencial para facilitar una educación en química más sólida y significativa, ya que estos conceptos son fundamentales para explicar procesos cotidianos, como la digestión de alimentos en el cuerpo humano, la determinación de componentes químicos de una sustancia y la fabricación de productos de limpieza, lo que permite a los estudiantes conectar la teoría con aplicaciones prácticas en la vida real.					
7	Estoy dispuesto/a a colaborar en equipo con mis compañeros de clase para abordar desafíos relacionados con el equilibrio químico ácido-base durante las sesiones					

	teóricas y de laboratorio, ya que reconozco que el trabajo en equipo puede enriquecer la comprensión del tema y facilitar el aprendizaje de conceptos complejos en química relacionados al equilibrio.					
8	Considero que la idea de participar en actividades experimentales en el laboratorio que estén centradas en el equilibrio químico ácido-base son experiencias fundamentales para consolidar mis conocimientos y habilidades en química en pro de comprender mejor los conceptos teóricos impartidos en el aula					
9	Desde mi experiencia como estudiante de química, reconozco que el equilibrio químico ácido-base es un tema esencial y relevante en mi proceso de aprendizaje, ya que su comprensión impacta directamente en mi capacidad para entender y resolver problemas en laboratorio y en el mundo real.					
10	Estoy comprometido/a a investigar y profundizar en conceptos avanzados relacionados con el equilibrio químico ácido-base, ya que comprendo la importancia de adquirir un conocimiento sólido en esta área para poder					

	enseñar de mejor manera a mis futuros estudiantes de química					
--	--	--	--	--	--	--

Anexo 3. Prueba de fundamentos conceptuales.

**Universidad Pedagógica Nacional
Facultad de Ciencia y Tecnología
Departamento de Química
Métodos de Análisis Químico I**

Esta prueba se presenta como segundo abordaje de un proyecto de investigación enfocado hacia el equilibrio químico ácido-base fundamentado en el alineamiento constructivo bajo el modelo 3P. Por favor diligencie el instrumento con la mayor sinceridad desde su punto de vista de profesor en formación de la Universidad Pedagógica Nacional.

A continuación se presenta una prueba realizada por un estudiante de la Universidad Pedagógica Nacional con base en el abordaje del equilibrio químico ácido-base desde el método sistemático y logarítmico, usted debe hacer la revisión de toda la prueba identificando los errores, aciertos y comentarios pertinentes a sus conocimientos como profesor en formación en química. Utilice el menor tiempo en la medida de lo posible, los resultados que se obtengan de este instrumento serán de uso netamente académico. Gracias.

Explotación mineral en Colombia, el caso del arsénico como contaminante para la población

En Colombia, la explotación mineral, especialmente la del carbón, se lleva a cabo sin una supervisión ambiental adecuada, lo que resulta en una serie de impactos negativos. La falta de control conduce a la deforestación, la generación de residuos peligrosos como metales pesados y sustancias tóxicas, y la consiguiente contaminación de fuentes hídricas y suelos en áreas cercanas a las minas.

Estos problemas tienen consecuencias directas en la calidad de vida de las comunidades locales, con un riesgo significativo de exposición a la contaminación por parte de los residentes y trabajadores mineros. A pesar de los beneficios económicos derivados de la comercialización del carbón, su producción plantea preocupaciones debido a la liberación de partículas tóxicas durante todas las etapas del proceso, desde la extracción hasta la quema de combustibles fósiles.

Se ha observado que la exposición al polvo de carbón en ciudades mineras está asociada con un aumento en enfermedades respiratorias y diversos tipos de cáncer. Además, la concentración de metales pesados en el carbón varía según la ubicación geográfica y las condiciones específicas de la mina, lo que subraya la importancia de monitorear y controlar los niveles de contaminación.

En este contexto, es esencial vigilar de cerca los niveles de arsénico y mercurio, ya que estos metales pueden representar un riesgo significativo para la salud pública y el medio ambiente. Un enfoque integral que incluya medidas efectivas de control y análisis de contaminantes es fundamental para mitigar los impactos negativos de la explotación carbonífera en las comunidades y el entorno natural.

El arsénico se puede encontrar en la naturaleza en su forma de óxido de arsénico (V) el cual se ha obtenido por medio de calentamiento con oxígeno del óxido de arsénico (III). El óxido de arsénico (V) es un polvo blanco que tiene la característica de ser higroscópico por lo cual este se puede disolver fácilmente en agua y generar el ácido orto arsénico que puede jugar el papel de uno de los contaminantes para la salud, las comunidades y el entorno natural en la explotación mineral.

1. (VALOR: 2,0) En un laboratorio de química analítica de la Universidad Pedagógica Nacional se quiere verificar la concentración y naturaleza de ácido orto arsénico por medio de una valoración potenciométrica en medio alcalino. Para dicha práctica se dispone de una muestra contaminada con ácido orto arsénico de concentración analítica de 0,15 M y una solución estandarizada de hidróxido de sodio de concentración 0,1 M. El objetivo de la práctica será construir una curva de titulación para determinar los puntos de equivalencia y el rango de pHc durante la titulación de 10 mL de la muestra de ácido orto arsénico con hidróxido de sodio. El estudiante deberá graficar el pHc en función del volumen de la base agregada al ácido para analizar el comportamiento ácido-base del sistema y determinar la concentración analítica de la especie ácida

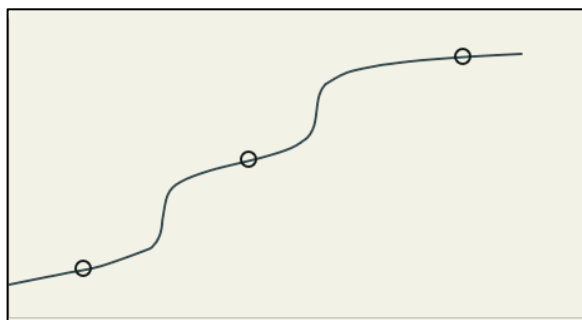
Datos. Los valores de las pKa para el ácido ortoarsénico son: $pK_{a1}=2,24$ $pK_{a2}=6,96$ y $pK_{a3}=11,50$).

Para el abordaje del problema tenga en cuenta:

- a)** Plantear todos los equilibrios presentes en el sistema
 - b)** Las constantes de disociación (explique la relación entre la fuerza de la especie ácida o básica con su constante de disociación)
 - c)** El balance de masa de las especies en equilibrio
 - d)** El balance de masa con respecto al volumen o balance de material
 - e)** El balance de cargas de las especies implicadas o balance de electroneutralidad
 - f)** Obtener el algoritmo matemático con el que se construye la curva de valoración
- 2. (VALOR: 2,0)** A partir de la gráfica determinada para el punto anterior, se le muestran los puntos donde el pKa es igual al pHc

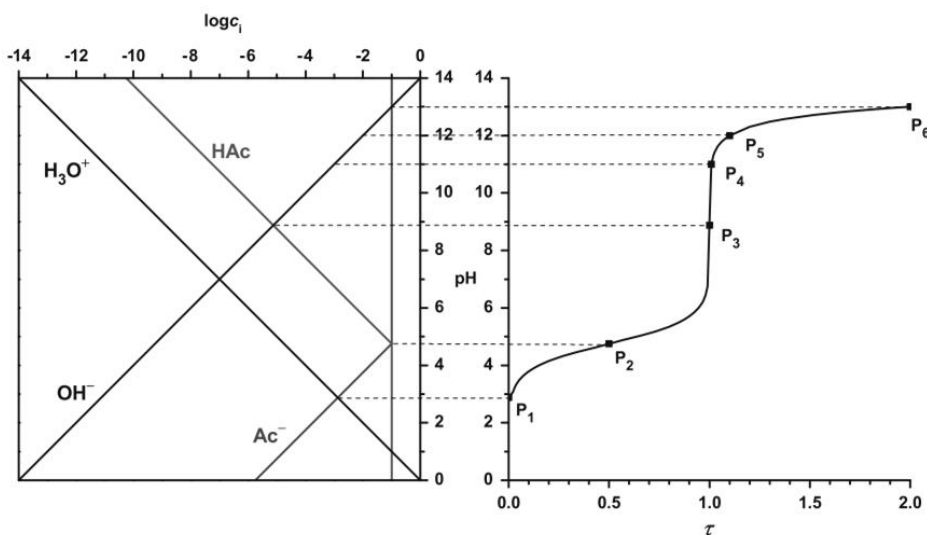
a) De una explicación de la relación que hay entre el pKa y el pHc en la curva de valoración

b) Aunque el ácido ortoarsénico cuenta con tres protones lábiles, no presenta 3 puntos de equivalencia en la curva, de una posible explicación para este caso



Ácido orto arsénico 0,15M vs NaOH 0,10 M

3. (VALOR: 3,0) A partir del siguiente diagrama ácido-base y curva de valoración del ácido acético 0,1 M que tiene una pKa=4,75, interprete la información que allí encuentra teniendo en cuenta el logaritmo de la concentración, el pH, el pKa y los puntos de intersección entre especies



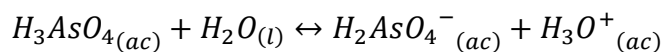
Solución

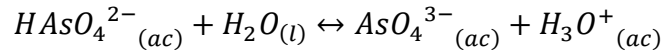
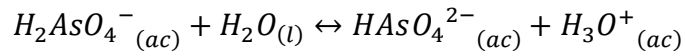
1.

a)

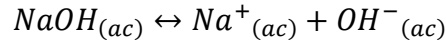
Puntaje _____/0,33

Para las especies ácidas:

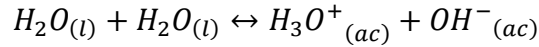




Para la especie básica:



Para el agua:



b)

Puntaje _____/0,33

-Para el ácido ortoarsénico:

$$Q_{a1} = \frac{[H_2AsO_4^-][H^+]}{[H_3AsO_4]} \quad \therefore [H_3AsO_4] = \frac{[H_2AsO_4^-][H^+]}{Q_{a1}}$$

$$Q_{a2} = \frac{[HAsO_4^{2-}][H^+]}{[H_2AsO_4^-]} \quad \therefore [H_2AsO_4^-] = \frac{[HAsO_4^{2-}][H^+]}{Q_{a2}}$$

$$Q_{a3} = \frac{[AsO_4^{3-}][H^+]}{[HAsO_4^{2-}]} \quad \therefore [HAsO_4^{2-}] = \frac{[AsO_4^{3-}][H^+]}{Q_{a3}}$$

-Para el hidróxido de sodio:

$$Q_b < 1$$

-Para el agua:

$$Q_w = [H^+][OH^-] \quad \therefore [OH^-] = \frac{Q_w}{[H^+]}$$

Entonces las concentraciones:

$$[HAsO_4^{2-}] = \frac{[AsO_4^{3-}][H^+]}{Q_{a3}}$$

$$[H_2AsO_4^-] = \frac{[AsO_4^{3-}][H^+]^2}{Q_{a2}Q_{a3}}$$

$$[H_3AsO_4] = \frac{[AsO_4^{3-}][H^+]^3}{Q_{a1}Q_{a2}Q_{a3}}$$

$$[OH^-] = \frac{Q_w}{[H^+]}$$

c)

Puntaje _____/0,33

Balance de masa para el ácido fosfórico analítica

$$[H_3AsO_4]_{Analítica} = [AsO_4^{3-}] + [HAsO_4^{2-}] + [H_3AsO_4]$$

$$[H_3AsO_4]_{Analítica} = [AsO_4^{3-}] + \frac{[AsO_4^{3-}][H^+]}{Q_{a3}} + \frac{[AsO_4^{3-}][H^+]^3}{Q_{a1}Q_{a2}Q_{a3}}$$

$$[H_3AsO_4]_{Analítica} = [AsO_4^{3-}] \left(1 + \frac{[H^+]}{Q_{a3}} + \frac{[H^+]^3}{Q_{a1}Q_{a2}Q_{a3}} \right) \rightarrow F.H.A$$

$$[H_3AsO_4]_{Analítica} = [AsO_4^{3-}] F.H.A$$

Balance de masa para el hidróxido de sodio

$$[Na^+]_{Analítica} = [Na^+]$$

d)

Puntaje _____/0,33

$$[H_3AsO_4]_{Analítica} = \frac{V_{alícuota}[H_3AsO_4]_{Analítica}}{V_{alícuota} + V_{add OH^-}}$$

$$[Na^+]_{Analítica} = \frac{V_{add OH^-} [NaOH]_{Analítica}}{V_{add OH^-} + V_{alícuota}}$$

e)

Puntaje _____/0,33

Balance de cargas

$$\begin{aligned}
 [Na^+] + [H^+] &= 3[AsO_4^{3-}] + 2[HAsO_4^{2-}] + [OH^-] \\
 [Na^+] + [H^+] &= 3[AsO_4^{3-}] + 2\left(\frac{[AsO_4^{3-}][H^+]}{Q_{a3}}\right) + \frac{Q_w}{[H^+]} \\
 [Na^+]_{TOTAL} + [H^+] &= [AsO_4^{3-}]\left(3 + 2\frac{[H^+]}{Q_{a3}}\right) + \frac{Q_w}{[H^+]}
 \end{aligned}$$

f) Puntaje _____/0,34

Se obtiene el algoritmo matemático

$$[Na^+]_{TOTAL} + [H^+] = \frac{[H_3AsO_4]_{analítica}}{F.H.A} \left(3 + 2\frac{[H^+]}{Q_{a3}} + \frac{[H^+]^2}{Q_{a2}Q_{a3}} \right) + \frac{Q_w}{[H^+]}$$

2.

a) Puntaje _____/1,0

En la relación entre el pKa y el pH teniendo en cuenta la curva presentada, es que cuando estos son iguales en un punto de la curva, se considera que ese punto es donde el sistema está en equilibrio, es decir, que las formas básicas y ácidas del ácido fosfórico están presentes en cantidades iguales y el sistema tiene una interacción mínima a la adición de hidróxido de sodio.

b) Puntaje _____/1,0

El ácido ortoarsénico cuenta con tres protones lábiles, lo que teóricamente tendría como resultado una curva de titulación con tres puntos de equivalencia y esto es debido a la naturaleza y reactividad del grupo fosfato del ácido fosfórico en medio acuoso. Explicado de otra manera, por medio de los valores de las constantes de disociación, los puntos de equivalencia de la curva estarían dados por la disociación

de los protones de pQ_{a2} y pQ_{a3} , mientras que el pQ_{a1} que debería ser el tercer punto de equivalencia no alcanza este punto por su alta constante y reacciona totalmente con el hidróxido de sodio.

Anexo 4. Guía de estudio para el tratamiento sistemático del equilibrio químico ácido-base.

**Universidad Pedagógica Nacional
Facultad de Ciencia y Tecnología
Departamento de Química
Métodos de Análisis Químico I**

Guía de estudio #1: Método sistemático para abordaje de sistemas en equilibrio ácido-base

Objetivos:

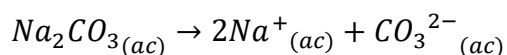
- Aplicar conceptos de balance de masa y balance de cargas
- Calcular la concentración y pH de las especies en equilibrio ácido-base
- Plantear el algoritmo matemático para realizar una curva de valoración potenciométrica aplicándolo a diferentes sistemas

1. Método sistemático

Este método se presenta como uno de los abordajes químico-matemáticos para los diferentes sistemas ácido-base, donde se tienen en cuenta unas condiciones específicas que a partir de ecuaciones generales, busca llegar a una aproximación simplificada del comportamiento de las especies en equilibrio.

Las ecuaciones mencionadas anteriormente se obtienen a partir del planteamiento de los equilibrios del sistema, el balance de masas, el balance de material y el balance de cargas o electroneutralidad. Luego que logre dominar el método sistemático es una muy buena vía para hacer aproximaciones rápidas y fáciles para abordar los sistemas ácido-base y realizar sus respectivas curvas de valoración potenciométricas.

Nota: los estudiantes deben realizar el tratamiento sistemático a lo largo de la guía para una valoración de 15 mL de una disolución de carbonato de sodio 0,0533 M con HCl 0,1 M. Los K_a para el ácido carbónico son $K_{a1}=10^{-6,35}$ y $K_{a2}=10^{-10,328}$ y la reacción:

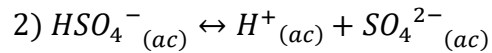
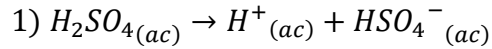


2. Equilibrios de un sistema en reacción

Las ecuaciones químicas y los equilibrios que se puedan plantear a través de estas son la primera descripción que se tiene del sistema ácido-base considerando la

identidad y cantidad relativa de especies que participan en la reacción química. Dentro del método sistemático se hace necesario este paso ya que de aquí derivan las primeras ecuaciones químico-matemáticas para iniciar con la descripción del sistema.

Tome como ejemplo la disociación del ácido sulfúrico:



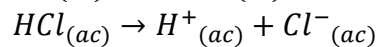
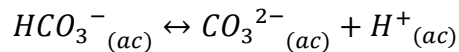
Y sus constantes:

$$1) Q_{a1} > 1$$

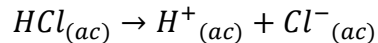
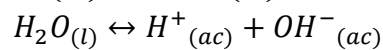
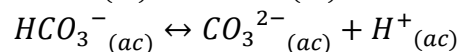
$$2) Q_{a2} = \frac{[H^+][SO_4^{2-}]}{[HSO_4^-]} = 10^{-1.99}$$

*Teniendo en cuenta lo anterior, para el caso del carbonato de calcio los equilibrios implicados son:

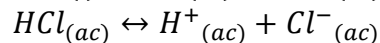
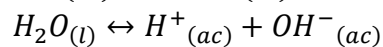
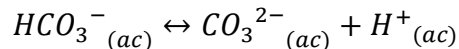
a)



b)



c)



Y para las constantes:

a)

$$Q_{a1} = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]}$$

$$Q_{a2} = \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]}$$

$$Q_{a3} > 1$$

$$Q_w = [H^+][OH^-]$$

b)

$$Q_{a1} = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]}$$

$$Q_{a2} = \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]}$$

$$Q_{a3} < 1$$

c)

$$Q_{a1} = \frac{[H^+][HCO_3^-]}{[H_2CO_3]}$$

$$Q_{a2} = \frac{[H^+][CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]}$$

$$Q_{a3} = \frac{[H^+][Cl^-]}{[HCl]}$$

$$Q_w = [H^+][OH^-]$$

3. Balance de masa o balance de material

El balance de material representa el estado de conservación de la masa en el sistema en equilibrio. Este balance se define como que la concentración analítica de una especie en específico es igual a la sumatoria de todas las especies implicadas en sus equilibrios. Para entender esto mucho mejor, tenga en cuenta el siguiente ejemplo con el ácido sulfúrico:

$$[H_2SO_4]_{Analítica} = [HSO_4^-] + [SO_4^{2-}]$$

A partir de la ecuación anterior se busca plantearla en términos de una sola variable, para esto, se pueden despejar algunas expresiones usando las constantes de disociación previamente calculadas, este paso de la forma:

$$[H_2SO_4]_{Analítica} = [SO_4^{2-}] + \frac{[H^+][SO_4^{2-}]}{Qa_2}$$

$$[H_2SO_4]_{Analítica} = [SO_4^{2-}] \left(1 + \frac{[H^+]}{Qa_2} \right)$$

$$[H_2SO_4]_{Analítica} = [SO_4^{2-}] F.H.A$$

A su vez la concentración analítica de la especie en equilibrio tiene una relación con el volumen que servirá como variable para hallar esta concentración en diferentes puntos de la valoración potenciométrica. Para entender mejor se plantea para el ácido sulfúrico en medio alcalino:

$$[H_2SO_4]_{Analítica} = \frac{V_{alícuota}[H_2SO_4]}{V_{alícuota} + V_{add OH^-}}$$

Al plantear el sistema con el ácido sulfúrico es necesaria una base que actúe como valorante, en este caso se usará el hidróxido de sodio, el cual debe tener su respectivo balance de material también, este de la forma:

$$[NaOH]_{Analítica} = \frac{V_{add OH^-}[NaOH]}{V_{alícuota} + V_{add OH^-}} = [Na^+]$$

*Teniendo en cuenta los planteamientos anteriores entonces para el carbonato de sodio el balance de material es:

a)

$$[CO_3^{2-}]_{Analítica} = \frac{V_{alícuota}[Na_2CO_3]}{V_{alícuota} + V_{add NaOH}} = [HCO_3^-] + [H_2CO_3]$$

$$[Na^+]_{Analítica} = \frac{V_{alícuota} * 2[Na_2CO_3]}{V_{alícuota} + V_{add NaOH}} = [Na^+]$$

$$[HCl]_{Analítica} = \frac{V_{add NaOH} * [HCl]}{V_{alícuota} + V_{add NaOH}} = [Cl^-]$$

b)

$$[CO_3^{2-}]_{Analítica} = \frac{V_{alícuota}[Na_2CO_3]}{V_{alícuota} + V_{add HCl}} = [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-] + [H_2CO_3]$$

$$[Na^+]_{Analítica} = \frac{V_{alícuota} * 2[Na_2CO_3]}{V_{alícuota} + V_{add HCl}} = [Na^+]$$

$$[HCl]_{Analítica} = \frac{V_{add\ HCl} * [HCl]}{V_{alícuota} + V_{add\ HCl}} = [Cl^{-}]$$

c)

$$[CO_3^{2-}]_{Analítica} = \frac{V_{alícuota}[Na_2CO_3]}{V_{alícuota} + V_{add\ HCl}} = [CO_3^{2-}] + [HCO_3^{-}]$$

$$[Na^{+}]_{Analítica} = \frac{V_{alícuota} * 2[Na_2CO_3]}{V_{alícuota} + V_{add\ HCl}} = [Na^{+}] + [Na_2CO_3]$$

$$[HCl]_{Analítica} = \frac{V_{add\ HCl} * [HCl]}{V_{alícuota} + V_{add\ HCl}} = [Cl^{-}]$$

*Con base en la opción que eligió en el apartado anterior y según los ejemplos dados, plantee el F.H.A para las especies de carbonato presentes en el carbonato de sodio.

4. Balance de cargas o electroneutralidad

El balance de electroneutralidad es el estado donde la sumatoria de cargas positivas en solución es igual a la sumatoria de cargas negativas en solución (cationes = aniones). Para este balance es importante tener en cuenta que la magnitud de la carga del ion debe ser igual al coeficiente, de esta manera se plantea para el ácido sulfúrico:

$$[Na^{+}] + [H^{+}] = 2[SO_4^{2-}] + [HSO_4^{-}] + [OH^{-}]$$

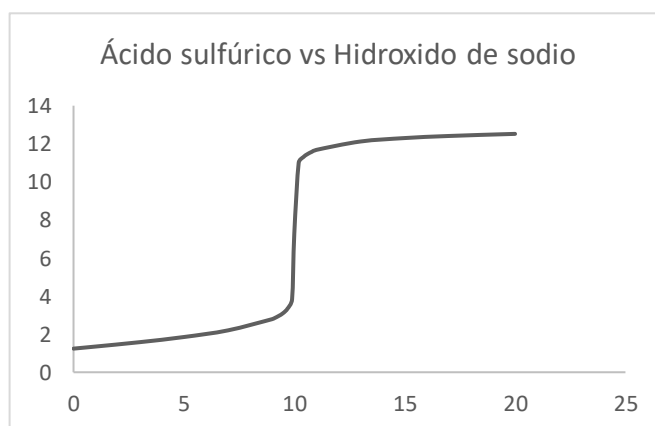
En este punto se tienen las expresiones matemáticas necesarias para plantear el algoritmo matemático que posteriormente se usará en una hoja de cálculo y así generar la respectiva curva de valoración para el sistema. Entonces despejando algunos términos:

$$[Na^+] + [H^+] = 2[SO_4^{2-}] + \frac{[H^+][SO_4^{2-}]}{Qa_2} + \frac{Q_w}{[H^+]}$$

$$[Na^+]_{analítica} + [H^+] = [SO_4^{2-}] \left(2 + \frac{[H^+]}{Qa_2} \right) + \frac{Q_w}{[H^+]}$$

$$[Na^+]_{analítica} + [H^+] = \left(\frac{[H_2SO_4]_{Analítica}}{F.H.A} \right) \left(2 + \frac{[H^+]}{Qa_2} \right) + \frac{Q_w}{[H^+]}$$

A partir del algoritmo obtenido y usando los respectivos datos en una hoja de cálculo, se grafica la curva de valoración para el ácido sulfúrico 0,05 M en medio alcalino con hidróxido de sodio 0,1 M.



*Para el caso del carbonato de sodio, el balance de electroneutralidad será:

a)

$$2[Na^+] + [H^+] = 2[CO_3^{2-}] + 2[HCO_3^-] + [Cl^-] + [OH^-]$$

b)

$$[Na^+] + [H^+] = [CO_3^{2-}] + [HCO_3^-] + [Cl^-] + [OH^-]$$

c)

$$[Na^+] + [H^+] = 2[CO_3^{2-}] + [HCO_3^-] + [Cl^-] + [OH^-]$$

*Con base en la opción que eligió en el apartado anterior y según los ejemplos dados, plantee el algoritmo matemático teniendo en cuenta el balance de electroneutralidad y el despeje expresiones matemáticas.



Ahora que ya se han considerado los pasos del método sistemático aquí se presenta un resumen del procedimiento:

Pasos	Descripción
1	Escribir las reacciones pertinentes, los equilibrios y su respectiva constante
2	Plantear el balance de material teniendo en cuenta las especies necesarias y su relación con el volumen
3	Plantear el balance de electroneutralidad con base en los iones en solución del sistema
4	Obtener el algoritmo matemático a partir del balance de electroneutralidad
5	Resolver el sistema a través de una hoja de cálculo

Trabajo autónomo:

Teniendo el algoritmo matemático que usted planteó, construya la curva de valoración para el sistema de carbonato de calcio. Recuerde tener en cuenta los puntos de equivalencia para lograr una curva con buena dispersión de datos.

Anexo 5. Guía de estudio para el abordaje logarítmico del equilibrio químico ácido-base.

**Universidad Pedagógica Nacional
Facultad de Ciencia y Tecnología
Departamento de Química
Métodos de Análisis Químico I**

Guía de estudio #2: Método logarítmico para abordaje de sistemas en equilibrio ácido-base

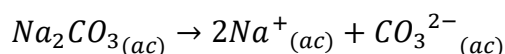
Objetivos:

- Aplicar conceptos de balance de masa y balance de cargas
- Calcular la concentración y pH de las especies en equilibrio ácido-base
- Plantear las expresiones matemáticas para graficar un diagrama ácido-base y su respectiva curva de valoración potenciométrica aplicándolo a diferentes sistemas.

Método logarítmico

Este método se presenta como otro abordaje de los sistemas ácido-base, que por medio de algunas expresiones matemáticas se puede graficar un diagrama donde interviene el pH y el logaritmo de la concentración donde fácilmente se puede estimar el pH de una solución. En el caso de los conceptos que abarca el método logarítmico hay una similitud frente al método sistemático visto anteriormente, como lo es con el planteamiento de ecuaciones químicas, los respectivos equilibrios, y el balance de material de las especies químicas implicadas en el equilibrio.

Nota: los estudiantes deben realizar el tratamiento sistemático a lo largo de la guía para una valoración de 15 mL de una disolución de carbonato de sodio 0,0533 M con HCl 0,1 M. Los K_a para el ácido carbónico son $K_{a1}=10^{-6,35}$ y $K_{a2}=10^{-10,328}$ y la reacción:



1. Construcción del diagrama logarítmico

Líneas de $[H^+]$ y $[OH^-]$

Lo primero que hay que conocer, es que los diagramas logarítmicos están constituidos por las rectas de $[H^+]$ y $[OH^-]$ que están en la solución ácido-base, esto se puede demostrar de la siguiente manera:

Para $[H^+]$:

$$pH = -\text{Log}([H^+]) \therefore [H^+] = 10^{-pH}$$

$$\text{Log}(H^+) = -pH$$

Esta expresión puede interpretarse desde la ecuación de la recta de la forma:

$$\text{Log}(H^+) = -(1)pH + 0$$

Donde la pendiente estaría dada por -1 y un intercepto del eje y igual a 0.

Para $[OH^-]$:

$$Q_w = [H^+][OH^-] = 10^{-14}$$

$$[OH^-]10^{-pH} = 10^{-14}$$

$$\text{Log}([OH^-]) - pH = -14$$

$$\text{Log}([OH^-]) = pH - 14$$

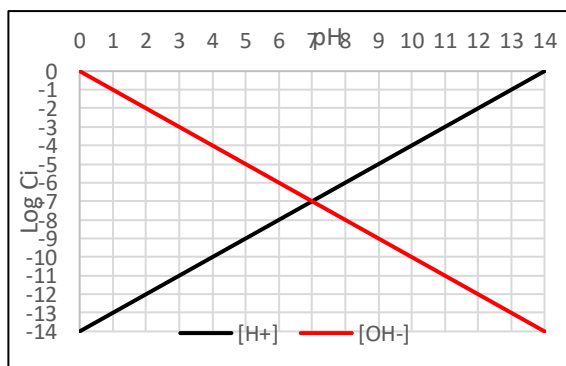
Que para la ecuación de la recta:

$$\text{Log}([OH^-]) = (1)pH - 14$$

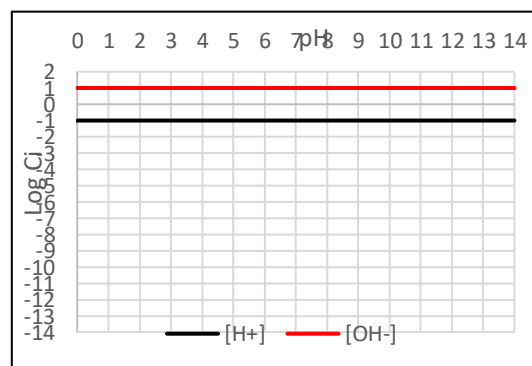
Donde la pendiente sería igual a 1 con un intercepto en el eje y igual a -14

*Entonces, basándose en la información anterior, ¿cuál es el diagrama que representa a $[H^+]$ y $[OH^-]$?

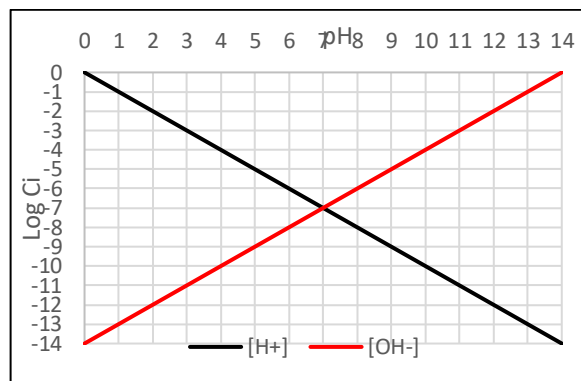
a)



b)



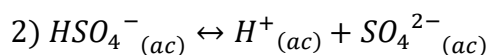
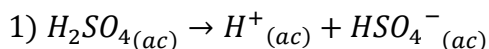
c)



Especies ácidas o básicas

Cuando involucramos las especies ácidas o básicas en el diagrama logarítmico es necesario aplicar algunos de los conceptos vistos en el método sistemático, en este orden de ideas se utilizarán los planteamientos de las ecuaciones químicas, los respectivos equilibrios del sistema y el balance de material para las especies en solución.

Retomando el ácido sulfúrico, el respectivo procedimiento se da de la forma:



Y sus constantes:

$$1) Q_{a1} > 1$$

$$2) Q_{a2} = \frac{[H^+][SO_4^{2-}]}{[HSO_4^-]} = 10^{-1.99}$$

Para el balance de material:

$$[H_2SO_4]_{Analítica} = [HSO_4^-] + [SO_4^{2-}]$$

Ya en este punto conocemos las especies que harán parte del diagrama logarítmico (H_2SO_4 , HSO_4^- , SO_4^{2-}). Ahora bien, a partir del balance de material se pueden determinar algunas expresiones matemáticas que describan el comportamiento de las especies en el diagrama logarítmico, es decir:

Para HSO_4^- :

$$[H_2SO_4]_{Analítica} = [HSO_4^-] + \frac{Q_{a2}[HSO_4^-]}{[H^+]}$$

$$[H_2SO_4]_{Analítica} = [HSO_4^-] \left(1 + \frac{Qa_2}{[H^+]} \right)$$

$$[HSO_4^-] = \frac{[H_2SO_4]_{Analítica}}{\left(1 + \frac{Qa_2}{[H^+]} \right)}$$

$$[HSO_4^-] = \frac{[H_2SO_4]_{Analítica}}{\left(1 + \frac{10^{-pQa}}{10^{-pH}} \right)}$$

$$\text{Log}([HSO_4^-]) = \text{Log} \left(\frac{[H_2SO_4]_{Analítica}}{(1 + 10^{pH-pQa})} \right)$$

Para SO_4^{2-} :

$$[H_2SO_4]_{Analítica} = [SO_4^{2-}] + \frac{[H^+][SO_4^{2-}]}{Qa_2}$$

$$[H_2SO_4]_{Analítica} = [SO_4^{2-}] \left(1 + \frac{[H^+]}{Qa_2} \right)$$

$$[SO_4^{2-}] = \frac{[H_2SO_4]_{Analítica}}{\left(1 + \frac{[H^+]}{Qa_2} \right)}$$

$$\text{Log}([SO_4^{2-}]) = \text{Log} \left(\frac{[H_2SO_4]_{Analítica}}{(1 + 10^{pQa-pH})} \right)$$

Con las expresiones matemáticas remarcadas, se puede graficar el comportamiento de estas especies en el diagrama logarítmico, pero debe plantearse también la expresión que determine el comportamiento de H_2SO_4 , para esto suponemos el ácido como parte de los equilibrios para proponer su algoritmo matemático:

$$[H_2SO_4]_{Analítica} = [H_2SO_4] + [HSO_4^-] + [SO_4^{2-}]$$

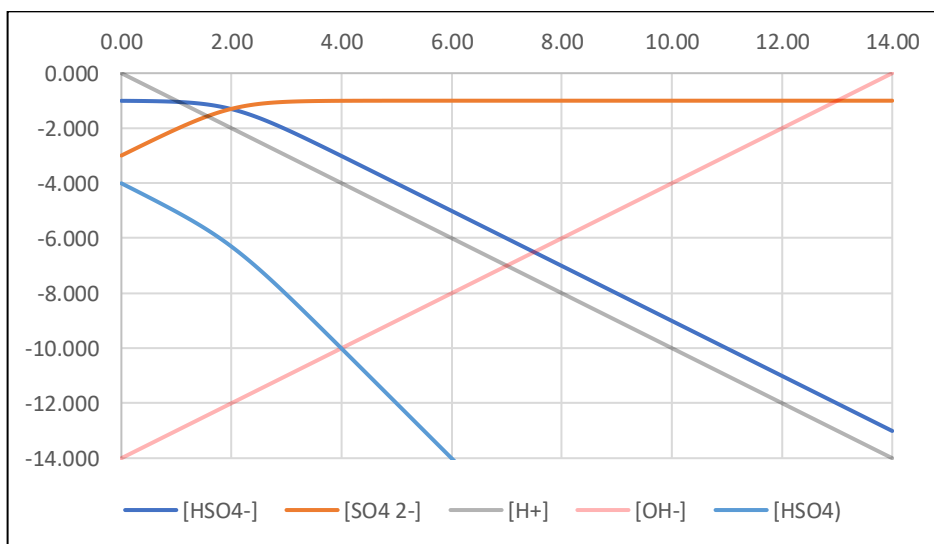
$$[H_2SO_4]_{Analítica} = [H_2SO_4] + \frac{Qa_1[H_2SO_4]}{[H^+]} + \frac{Qa_1Qa_2[H_2SO_4]}{[H^+]^2}$$

$$[H_2SO_4]_{Analítica} = [H_2SO_4] \left(1 + \frac{Qa_1}{[H^+]} + \frac{Qa_1Qa_2}{[H^+]^2} \right)$$

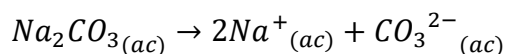
$$[H_2SO_4] = \frac{[H_2SO_4]_{Analitica}}{\left(1 + \frac{Qa_1}{[H^+]} + \frac{Qa_1 Qa_2}{[H^+]^2}\right)}$$

$$\text{Log}([H_2SO_4]) = \text{Log}\left(\frac{[H_2SO_4]_{Analitica}}{1 + 10^{pH-pQa_1} + 10^{2pH-pQa_1-pQa_2}}\right)$$

En este momento donde se tiene una descripción logarítmica para las especies en solución, ya se puede empezar a construir el diagrama logarítmico para este sistema a través de una hoja de Excel, este diagrama para el ácido sulfúrico 0,1 M y sus constantes $pQa_1=3$ $pQa_2=1,99$:



*Con base en lo anteriormente planteado a partir del balance de material para la solución de ácido sulfúrico, realice todo el tratamiento para obtener las expresiones matemáticas del sistema de carbonato de sodio 0,0533 N. Los pQa para el ácido carbónico son $pQa_1=6,35$ y $Qa_2=10,328$ y la reacción:

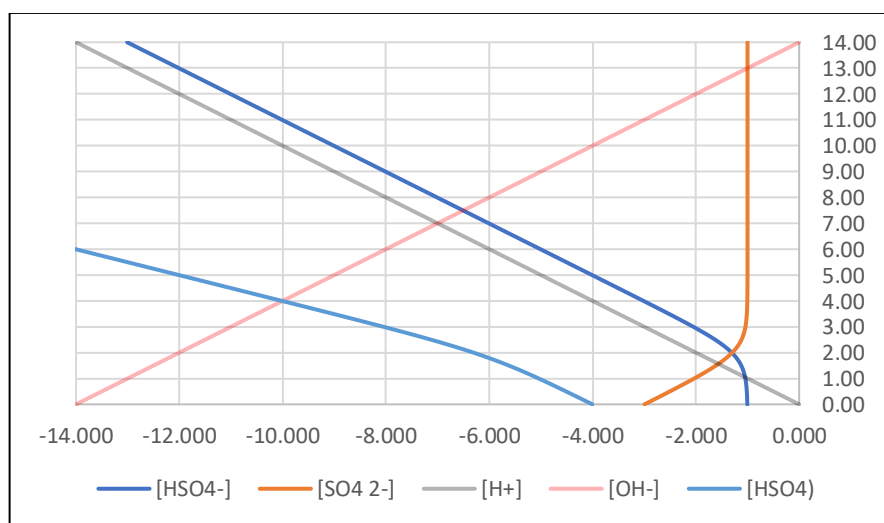


Trabajo autónomo:

Haciendo uso de los algoritmos matemáticos que usted planteó, construya el diagrama logarítmico para el sistema de carbonato de calcio. Recuerde tener en cuenta la concentración de todas las especies en solución ($[H^+]$, $[OH^-]$, $[H_2CO_3]$, $[HCO_3^-]$ y $[CO_3^{2-}]$)

2. Uso de los diagramas logarítmicos en la construcción de curvas de valoración

Luego de realizar el respectivo diagrama logarítmico se puede hacer una aproximación a una curva de valoración teniendo en cuenta algunas zonas de predominancia y puntos de intersección de las especies del sistema. Como primer paso, es necesario rotarlo 90° y además reflejarlo en sobre el eje x, o puede interpretarse como cambiar el eje de las especies (el logaritmo de la concentración en el eje x y el pH en el eje y). Para facilitar la descripción tenga en cuenta el siguiente gráfico del sistema de ácido sulfúrico 0,1 M.



Esto se propone de esta manera para facilitar la identificación de puntos clave en el diagrama logarítmico en relación con la curva de valoración. Ya luego de esto es importante tener claros los ya mencionados puntos clave en el diagrama logarítmico, estos se dan por los intersecciones entre las especies del sistema. A modo de ejemplo para el gráfico anterior:

$$(1) \text{Log}([HSO_4^-]) = \text{Log}([H^+])$$

$$(2) \text{Log}([SO_4^{2-}]) = \text{Log}([H^+])$$

$$(3) \text{Log}([HSO_4^-]) = \text{Log}([SO_4^{2-}])$$

$$(4) \text{Log}([HSO_4^-]) = \text{Log}([OH^-])$$

$$(5) \text{Log}([SO_4^{2-}]) = \text{Log}([OH^-])$$

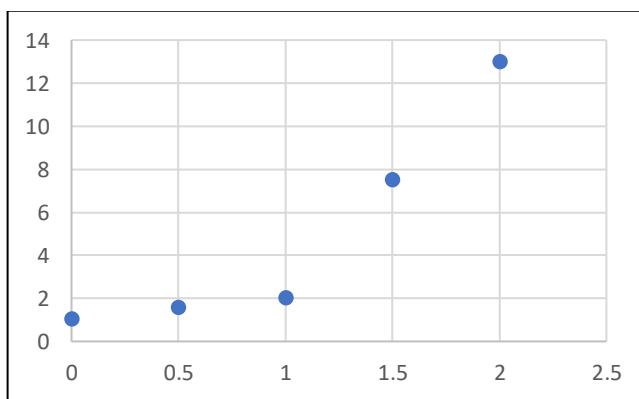
Es importante determinar el pH en cada uno de estos puntos ya que estos serán fundamentales para la construcción de la curva de valoración. Para el caso de este sistema:

Ecuación	pH
1	1,04
2	1,56
3	1,99
4	7,49
5	13,00

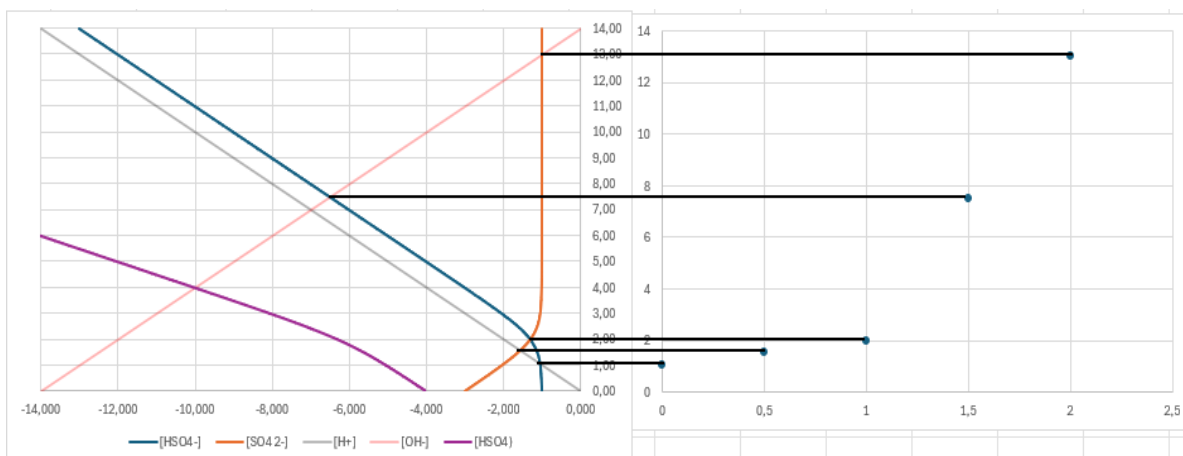
Los valores de pH se ubicarán en relación con una escala de 0 a 2 con el término τ para determinar los puntos de la curva de valoración.

Ecuación	τ	pH
1	0,0	1,04
2	0,5	1,56
3	1,0	1,99
4	1,5	7,49
5	2,0	13,00

Los puntos para la curva de valoración:



Por último, se plantea la relación del diagrama logarítmico con la curva de valoración mostrando la unión de los puntos clave de ambos gráficos, a modo de ejemplo:



Ahora que ya se han considerado los pasos del método sistemático aquí se presenta un resumen del procedimiento:

Pasos	Descripción
1	Graficar las especies $[H^+]$ y $[OH^-]$
2	Plantear las ecuaciones químicas, equilibrios involucrados en el sistema y el balance de material de las especies.
3	Determinar la expresión matemática para cada una de las especies involucradas en el balance de material.
4	Graficar las especies del sistema con base en los algoritmos matemáticos obtenidos en el paso 3.
5	Reordenar el diagrama logarítmico (cambios de eje) para determinar los puntos clave del diagrama
6	Plantear las expresiones que definen los puntos clave del diagrama logarítmico
7	Hallar el pH para los puntos clave determinados en el paso 6.
8	Graficar los puntos de la curva de valoración a partir del pH y τ (rango de $\tau=0$ a $\tau=2$)
9	Plantear la relación entre los puntos clave del diagrama logarítmico con la gráfica de la curva de valoración

Trabajo autónomo

Construya la curva de valoración para el carbonato de sodio 0,0533 M. Los pK_{a1} y pK_{a2} para el ácido carbónico son $pK_{a1}=6,35$ y $pK_{a2}=10,328$.

Anexo 6. Guía de laboratorio para la determinación de la concentración de ácido fosfórico en una muestra de Coca-Cola.

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
MÉTODOS DE ANÁLISIS QUÍMICO I**

Esta guía de laboratorio se presenta como parte experimental de un proyecto de investigación enfocado hacia el equilibrio químico ácido-base fundamentado en el alineamiento constructivo bajo el modelo 3P. Ejecute la práctica de laboratorio con responsabilidad desde sus habilidades como profesor en formación de la Universidad Pedagógica Nacional.

DETERMINACIÓN DE ÁCIDO FOSFORICO EN COCA-COLA A POR MEDIO DE UNA VALORACIÓN POTENCIOMETRICA

OBJETIVOS

- Determinar cuantitativamente la concentración de ácido fosfórico en una solución de Coca-Cola utilizando los métodos analíticos de la primera y segunda derivada
- Estandarizar el hidróxido de sodio con ftalato ácido de potasio para determinar la concentración real de la base
- Determinar el pH_e y pH_c del sistema durante la valoración a partir del trabajo práctico de laboratorio y el uso de los métodos químico-matemáticos objeto de estudio
- Realizar las gráficas y/o diagramas que expliquen el comportamiento de las especies presentes en el equilibrio químico ácido-base

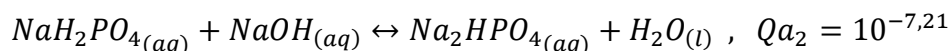
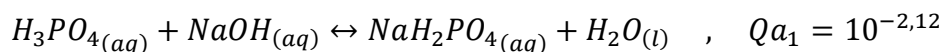
INFORMACION GENERAL

El equilibrio químico es un concepto fundamental en química que describe el estado en el cual la velocidad de las reacciones directa e inversa son iguales. En el caso específico del equilibrio ácido-base, este se refiere al equilibrio entre los iones hidrógeno y los iones hidroxilo en una solución acuosa. Este equilibrio está influenciado por varios factores, incluyendo la concentración de los reactivos, la temperatura y la presencia de sustancias que pueden actuar como ácidos o bases.

El ácido fosfórico es un componente frecuente en bebidas carbonatadas de cola comerciales (como Coca Cola, Pepsi-Cola y Big-Cola) utilizado para acidificarlas. Un consumo excesivo de estas bebidas puede generar una descalcificación en el organismo y aumentar su eliminación a través de la orina. A largo plazo, esto podría ocasionar una disminución en la densidad ósea de una persona altamente consumidora de bebidas gaseosas (en relación con una persona que no consume estas

bebidas), lo cual debe evitarse en el crecimiento de los niños y personas susceptibles a desarrollar enfermedades óseas

A cada grupo de laboratorio se le dará una cantidad de volumen diferente de coca cola para realizar la solución que posteriormente será valorada con la base designada. Durante la valoración se hará uso de un potenciómetro para hacer la medición del pH durante las siguientes dos etapas sucesivas:



En consecuencia del procedimiento la curva de valoración solo presenta dos puntos de equivalencia correspondientes a los volúmenes de NaOH adicionados que permiten calcular las concentraciones de ácido fosfórico (H_3PO_4) y/o fosfato monobásico ($H_2PO_4^-$) presentes en la muestra de Coca-Cola

EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

Equipos: Balanza analítica, plancha de calentamiento, potenciómetro, agitador magnético

Materiales: Material volumétrico

Reactivos: Hidróxido de sodio, ftalato ácido de potasio, fenolftaleína

PROCEDIMIENTO

1. Estandarización del hidróxido de sodio (NaOH):

- Tome la masa previamente calculada de biftalato de potasio y agréguela a un vaso de precipitado de 50 mL para posteriormente disolver con agua destilada.
- Agregue la solución a un balón aforado de 100 mL y afore con agua destilada.
- Tome alícuotas de 10 mL con una pipeta aforada y transfíralas a un Erlenmeyer de 125 mL
- Adicione de 3 a 5 gotas de fenolftaleína y valore con hidróxido de sodio

(Es importante que para este procedimiento cuente con los cálculos previos para tomar la masa de ftalato ácido de potasio correspondiente y el volumen de hidróxido de sodio que espera desalojar en la bureta)

2. Calibración del potenciómetro

- Ubique el potenciómetro en una superficie plana, limpia y libre de vibraciones
- Retire la tapa del electrodo y haga un lavado con agua destilada para posteriormente secar suavemente con una toalla de papel
- Luego del lavado, calibre el potenciómetro con las soluciones buffer de pH 4.0 y 7.0 o calibrelo según las instrucciones del potenciómetro

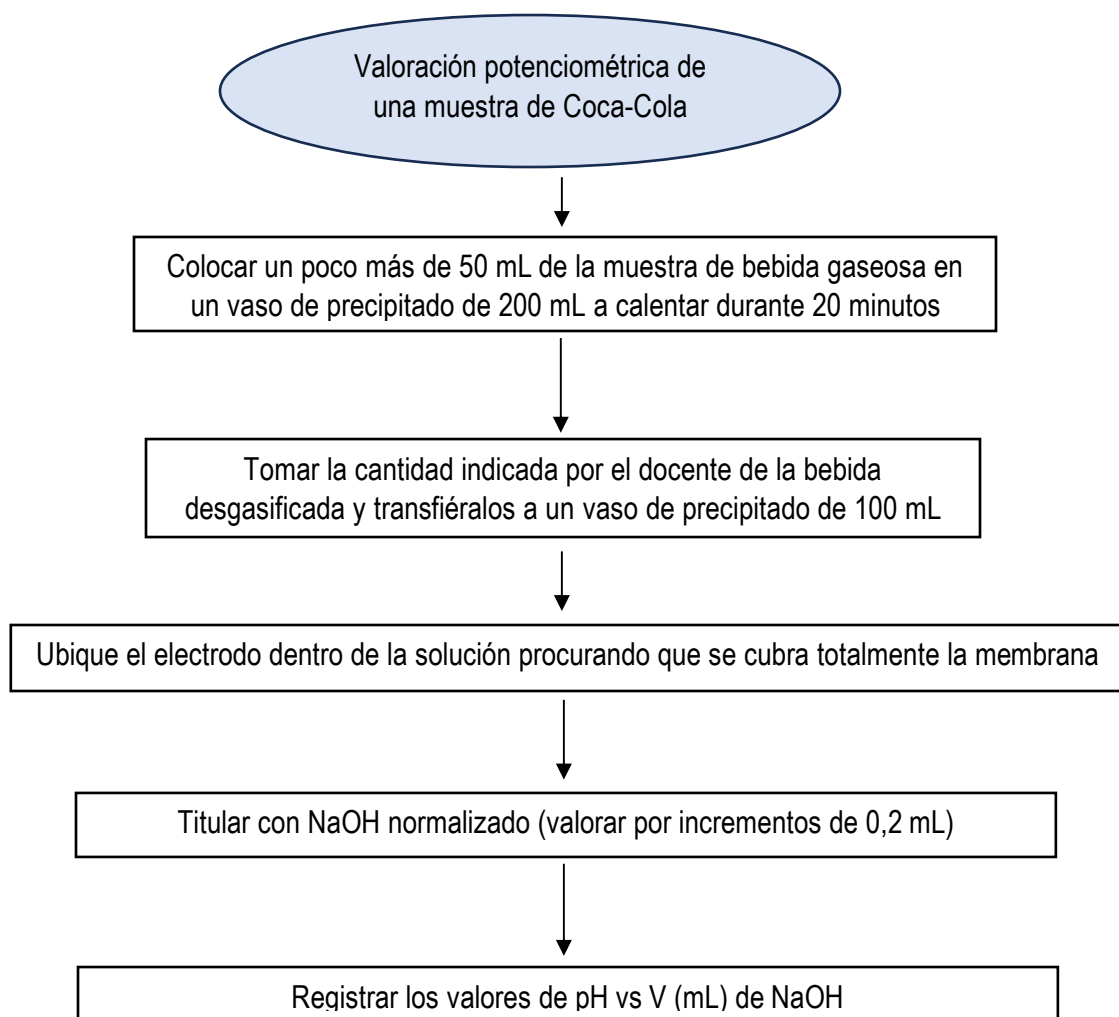
3. Preparación de la solución de Coca-Cola

- Desgasifique la bebida calentando hasta ebullición 50 mL de la muestra por un tiempo de 20 minutos
- Transfiera la cantidad indicada por el docente a un vaso de precipitado de 100 mL

4. Valoración de Coca-Cola con hidróxido de sodio

- Llene la bureta con la solución de hidróxido de sodio previamente estandarizada
- Coloque el vaso de precipitado de 100 mL con la muestra sobre un agitador magnético y agite a velocidad moderada
- Desaloje NaOH de la bureta en la solución diluida en intervalos de 0,2 mL (anote el volumen desalojado junto con el valor de pH que le muestra el potenciómetro)

Diagrama de flujo



Tratamiento de los datos obtenidos

-Dibuje las curvas y diagramas de interés para determinar la concentración en molaridad de ácido fosfórico de la muestra de Coca-Cola

Recomendaciones

- Haga uso de las Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL) usando sus correspondientes implementos de seguridad, desechando los residuos en su respectivo contenedor y siendo responsable con su papel de analista en el laboratorio
- Tenga en cuenta los valores de incertidumbre del material volumétrico
- Recuerde purgar el material con el que toma reactivos para evitar una propagación de errores en el procedimiento

RECURSOS

Preparación de NaOH 0,1 M:

$$0,5 \text{ L} * \frac{0,1 \text{ mol NaOH}}{1,0 \text{ L}} * \frac{39,997 \text{ g NaOH}}{1 \text{ mol NaOH}} * \frac{95 \text{ g}}{100 \text{ g}} = 1,899 \text{ g NaOH}$$

Preparación ftalato ácido de potasio (BK):

$$100 \text{ mL} * \frac{0,1 \text{ mol NaOH}}{1000 \text{ mL}} * \frac{1 \text{ mol BK}}{1 \text{ mol NaOH}} * \frac{204,23 \text{ g BK}}{1 \text{ mol BK}} = 2,0423 \text{ g BK}$$

Volumen necesario de NaOH para su estandarización:

$$2,0423 \text{ g BK} * \frac{1 \text{ mol BK}}{204,23 \text{ g BK}} * \frac{1 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ mol BK}} * \frac{1000 \text{ mL}}{0,1 \text{ mol NaOH}} * \frac{10 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} = 10 \text{ mL NaOH}$$

Para hallar la molaridad de NaOH:

$$2,0423 \text{ g BK} * \frac{1 \text{ mol BK}}{204,23 \text{ g BK}} * \frac{1 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ mol BK}} * \frac{1}{0,01 \text{ L NaOH}} * \frac{10 \text{ mL}}{100 \text{ mL}} = 0,1 \text{ M}$$

Curva de valoración:

$$pH \text{ vs } V_{add (OH)^-}$$

Primera derivada:

$$\frac{\Delta pH}{\Delta V_{add (OH)^-}} \text{ vs } V_{add (OH)^-}$$

Segunda de derivada:

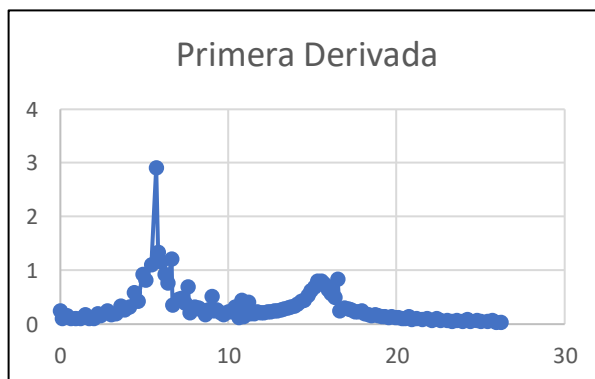
$$\frac{\Delta(\Delta pH / \Delta V_{add(OH)^-})}{\Delta Vm} \text{ vs } V_{add(OH)^-}$$

pH	V _{add(OH)⁻}	pH	V _{add(OH)⁻}	pH	V _{add(OH)⁻}	pH	V _{add(OH)⁻}
	0		7,6		15,2		22,8
	0,2		7,8		15,4		23,0
	0,4		8,0		15,6		23,2
	0,6		8,2		15,8		23,4
	0,8		8,4		16,0		23,6
	1,0		8,6		16,2		23,8
	1,2		8,8		16,4		24,0
	1,4		9,0		16,6		24,2
	1,6		9,2		16,8		24,4
	1,8		9,4		17,0		24,6
	2,0		9,6		17,2		24,8
	2,2		9,8		17,4		25,0
	2,4		10,0		17,6		25,2
	2,6		10,2		17,8		25,4
	2,8		10,4		18,0		25,6
	3,0		10,6		18,2		25,8
	3,2		10,8		18,4		26,0
	3,4		11,0		18,6		26,2
	3,6		11,2		18,8		26,4
	3,8		11,4		19,0		26,6
	4,0		11,6		19,2		26,8
	4,2		11,8		19,4		27,0
	4,4		12,0		19,6		27,2
	4,6		12,2		19,8		27,4
	4,8		12,4		20,0		27,6
	5,0		12,6		20,2		27,8
	5,2		12,8		20,4		28,0
	5,4		13,0		20,6		28,2
	5,6		13,2		20,8		28,4
	5,8		13,4		21,0		28,6
	6,0		13,6		21,2		28,8
	6,2		13,8		21,4		29,0
	6,4		14,0		21,6		29,2
	6,6		14,2		21,8		29,4
	6,8		14,4		22,0		29,6
	7,0		14,6		22,2		29,8

	7,2		14,8		22,4		30,0
	7,4		15,0		22,6		

Uso de la primera derivada:

Tome este ejemplo de una muestra de Coca-Cola valorada con NaOH. Al graficar $\Delta\text{pH}/\Delta V_{\text{add (OH)}^-}$ vs $V_{\text{add (OH)}^-}$ se obtiene la siguiente gráfica, donde los puntos de equivalencia estarán dados por los picos de mayor altitud.

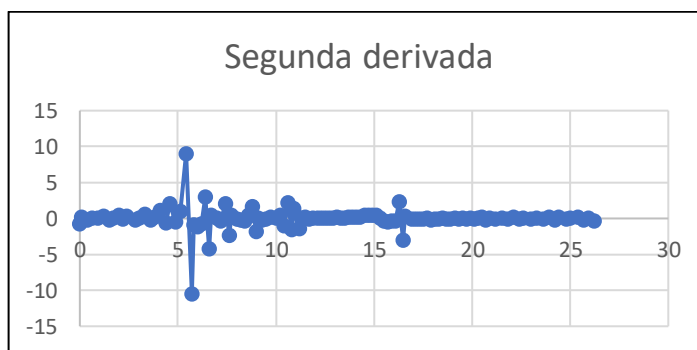


1^{er} punto de equivalencia: $V_{\text{add (OH)}^-} = 5,70 \text{ mL}$

2^{do} punto de equivalencia: $V_{\text{add (OH)}^-} = 16,50 \text{ mL}$

Uso de la segunda derivada:

Tome este ejemplo de una muestra de Coca-Cola valorada con NaOH. Al graficar $\Delta(\Delta\text{pH}/\Delta V_{\text{add (OH)}^-})/\Delta V_m$ vs $V_{\text{add (OH)}^-}$ se obtiene la siguiente gráfica, donde los puntos de equivalencia estarán dados por los picos de mayor altitud.



1^{er} punto de equivalencia: $V_{\text{add (OH)}^-} = 5,70 \text{ mL}$

2^{do} punto de equivalencia: $V_{\text{add (OH)}^-} = 16,50 \text{ mL}$

Para la concentración de H_3PO_4

Tome a modo de ejemplo la siguiente relación estequiométrica para hallar la concentración de ácido en la bebida gaseosa:

$$5,70 \text{ mL} * \frac{0,1 \text{ mol NaOH}}{1000 \text{ mL}} * \frac{1 \text{ mol H}_3\text{PO}_4}{1 \text{ mol NaOH}} * \frac{1000 \text{ mmol H}_3\text{PO}_4}{1 \text{ mol H}_3\text{PO}_4} * \frac{1}{25 \text{ mL}} = 2,28 * 10^{-2} \text{ M}$$

TRATAMIENTO DE DATOS

1. Determine la concentración real del hidróxido de sodio (NaOH) empleado.
2. Calcule la concentración de ácido fosfórico presente en su muestra de Coca-Cola a partir del método de la primera y segunda derivada.
3. Construya los modelos químico-matemáticos (sistemático y logarítmico) para la curva de valoración de H_3PO_4 con NaOH
4. Compare las curvas de valoración según su práctica experimental y los modelos químico-matemáticos objeto de estudio

PREGUNTAS ADICIONALES

1. Suponiendo que la muestra de Coca-Cola analizada no estuviese conformada únicamente por el ácido fosfórico sino que se corresponde a una mezcla de ácidos. ¿Cuál sería el comportamiento de la curva de valoración en ese caso? ¿Se alterarían los modelos químico-matemáticos?
2. A partir del método de la primera y segunda derivada se toma el primer volumen de equivalencia para determinar la concentración de ácido fosfórico. ¿Por qué se toma ese primer valor en este sistema? ¿Qué pasaría si se toma el valor del segundo volumen de equivalencia para determinar la concentración del ácido?
3. Teniendo en cuenta el diagrama logarítmico para las especies presentes en el ácido fosfórico, indique y justifique cual o cuales indicadores ácido-base serían los más apropiados para esta valoración.

REFERENCIAS

- Clavijo, A. (2002) Fundamentos de Química Analítica. Universidad Nacional de Colombia.
- Martínez, Y., Hernández, H., & Ortiz, R. (2006) Prácticas de electroanalítica parte I conductimetría y potenciometría. Universidad de los Andes.
http://webdelprofesor.ula.ve/ciencias/rmhr/Index_archivos/GuiAIV1.pdf
- Química analítica instrumental (2020) Trabajo práctico N°1: titulaciones potenciométricas. Universidad Nacional de la Plata.
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/119773/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y