



Umbral Científico

ISSN: 1692-3375

umbralcientifico@umb.edu.co

Universidad Manuela Beltrán

Colombia

Bustamante R, Andrea J.; Murillo C, Nidya Mayely; Ayala, Andrea; Casas, Jaime A.  
ESTRATEGIA DIDÁCTICA PARA EL APRENDIZAJE DE LOS CONCEPTOS DE pH, EFECTO  
BUFFER Y CAPACIDAD AMORTIGUADORA A PARTIR DEL ESTUDIO DE BEBIDAS NO  
ALCOHÓLICAS

Umbral Científico, núm. 14, junio, 2009, pp. 181-192

Universidad Manuela Beltrán

Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30415059016>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# ESTRATEGIA DIDÁCTICA PARA EL APRENDIZAJE DE LOS CONCEPTOS DE pH, EFECTO BUFFER Y CAPACIDAD AMORTIGUADORA A PARTIR DEL ESTUDIO DE BEBIDAS NO ALCOHÓLICAS

Fecha de recepción: Noviembre 27 de 2008

Fecha de Aceptación: Abril 30 de 2009

Andrea J. Bustamante R\*, Nidya Mayely Murillo C\*, Andrea Ayala \*. Jaime A. Casas\*

**RESUMEN:** El concepto de pH se relaciona con conceptos tales como capacidad amortiguadora y Efecto Buffer, pero comúnmente se enseñan de forma aislada, por lo cual el propósito de este artículo es presentar una estrategia didáctica para estudiantes de educación superior, que incluye una revisión teórica, un TPL basado en una titulación potenciométrica de bebidas no alcohólicas y finaliza con el tratamiento matemático de los datos obtenidos permitiendo comparar los valores teóricos y experimentales, utilizando para ello diagramas de distribución de especies y fracciones alfa, las cuales pueden ser aplicadas a diferentes soluciones.

**Palabras claves:** Aprendizaje Significativo, pH, Efecto Buffer, Capacidad Amortiguadora, acidez iónica, acidez titulable

**ABSTRACT:** The buffer concept is related with others as buffering capacity and buffer effect, but usually they are taught in isolated way, for this reason, the purpose of this article is show a didactic strategy for top education students, that includes a theorist revision, a Practical Laboratory Work based on a potentiometric titration with non alcoholic drinks and it ends with the data mathematic approach, that is useful to compare the theorist and experimental information. This strategy proposes a mathematic approach from the use of species distribution diagrams and alpha fractions, which can be applied in different solutions.

**Keywords:** Significant learning pH, buffer effect and buffering capacity, ionic acidity, acidity.

## 1. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la química en la actualidad implica un abordaje matematizado de los conceptos propios de las teorías modernas, a pesar de esto, se trabaja de forma convencional sin tener en cuenta los sistemas reales que no se ajustan a los modelos teóricos existentes. Por tanto, es pertinente que los profesores de química asuman el reto de aprender y enseñar esta ciencia desde las teorías modernas, buscando una incidencia directa en la enseñanza y en el aprendizaje.

Aunque el concepto de pH se relaciona con conceptos tales como capacidad amortiguadora y Efecto Buffer, estos comúnmente se enseñan de forma aislada, lo que no permite que los estudiantes aprendan significativamente en su campo de acción.

El presente artículo tiene como propósito presentar una estrategia didáctica innovadora que no se desarrolle siguiendo enfoques teóricos tradicionales encontrados con frecuencia en la literatura, sino que permita la vinculación de otras perspectivas de abordaje a través del uso de diagramas de distribución de especies y determinación de fracciones alfa, favoreciendo el aprendizaje significativo y crítico de los conceptos de pH, efecto buffer y capacidad amortiguadora.

\*Facultad de Ciencia y Tecnología: Departamento de Química/ Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá Colombia.

e-mail: mdqu35\_abustamante@pedagogica.edu.co; mdqu30\_nmurillo@pedagogica.edu.co

Para el aprendizaje de los conceptos estructurantes mencionados anteriormente se recurre en primera instancia al diseño y realización de un trabajo práctico de laboratorio (TPL) que permite recolectar datos para su posterior tratamiento y análisis químico-matemático, empleando tampones encontrados en bebidas no alcohólicas tales como leche, yogurt, jugos y bebidas gaseosas, lo cual facilita el desarrollo de habilidades cognitivas y procedimentales en el aprendizaje de conceptos químicos.

En segunda instancia se ilustra el abordaje teórico y matemático de los conceptos objeto de estudio. Finalmente se pretende fomentar en los estudiantes el análisis de datos obtenidos en el TPL mediante la comparación de los valores de acidez titulable de referencia con los valores obtenidos experimentalmente.

Esta iniciativa responde a las nuevas tendencias en educación en química, basadas en el enfoque CTSA que concibe el empleo de sustancias inocuas para la salud, el ambiente y la utilización de productos de uso común como alternativa viable en la enseñanza.

Se considera que los TPL son importantes para la consolidación y el aprendizaje de los conceptos químicos, ya que permiten que la enseñanza de la química sea más activa y constructivista que según Ausubel (1981), propone que el conocimiento es una *construcción* del ser humano, ofreciendo una mayor relación con los acontecimientos de la vida diaria, al mismo tiempo que permiten desarrollar habilidades cognitivas, procedimentales y que permiten fomentar la formación de actitudes científicas.

Con este trabajo también se pretende demostrar que muchos productos empleados comúnmente poseen propiedades químicas tales como capacidad amortiguadora y efecto buffer, propias de las soluciones amortiguadoras preparadas y trabajadas en el laboratorio.

## 2. ABORDAJE TEÓRICO Y MATEMÁTICO DE LOS CONCEPTOS QUÍMICOS

Para alcanzar una comprensión estructurada de los conceptos de capacidad amortiguadora y efecto buffer, es preciso puntualizar hasta qué nivel de complejidad teórica se quiere llegar y desde cuál perspectiva de enseñanza se hace el enfoque.

El abordaje de los conceptos para este estudio no está fundamentado en la ecuación de Henderson Hasselbach, sino en el empleo de coeficientes de actividad para cálculos de pH y capacidad amortiguadora, haciendo uso de los Diagramas de Distribución de Especies y de las Fracciones Alfa. Se entiende la Fracción Alfa de una especie química, como la proporción entre su concentración y la concentración analítica dentro de un sistema a un pH determinado, y el Diagrama de Distribución de Especies como la representación gráfica de las fracciones alfa frente al pH de la solución. Así por ejemplo, en el diagrama de distribución de especies del ácido fosfórico, una fracción alfa 1 ( $\alpha_1$ ) de 0,690 a un cierto pH se interpretaría de la siguiente manera: de todas las especies de fosfato, aquella que es mono protonada ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) constituye un 69% del total de las especies presentes, ( $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^{1-}$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). (Cassas, Clavijo 2006).

Un Buffer, tampón o amortiguador de pH es un sistema químico que afecta la concentración de los iones de hidrógeno (o hidronios) en una solución, en forma tal que cuando son añadidas pequeñas cantidades de ácido o base, el cambio que se produce en el pH no es significativo.

Por tal razón, los amortiguadores de pH están relacionados con los sistemas que resisten cambios en el pH cuando se adicionan cantidades de ácido o base fuerte a una solución. Estos amortiguadores se conocen como soluciones buffer ácido-base y constan generalmente de una mezcla de un ácido débil y su base conjugada.

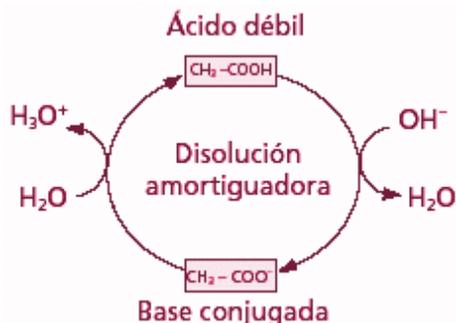


Figura 1. Composición más frecuente de soluciones buffer-

Es así que el estudio de soluciones amortiguadoras nos permite relacionar otros conceptos importantes como lo son pH, capacidad amortiguadora y Efecto buffer, los cuales para su mayor comprensión se definirán a continuación recordando en primera instancia qué es una reacción ácido – base:

- **Reacción ácido-base:** según la teoría de Bronsted Lowry; en este tipo de reacción sólo interviene la transferencia de protones,  $H^+$ . Un ácido es una especie química que tiene la capacidad de transferir protones y una base es la especie capaz de recibirlos.
- **pH** a partir de la definición operativa, en función de actividades es:

$$pH_a = pH = -\log[(a_{H^+})] = -\log([H^+] * f_{H^+}) = pH_c - \log f_{H^+}$$

$$pH_a = pH = -\log[(a_{H^+})] = -\log([H^+] * f_{H^+}) = pH_c - \log f_{H^+} \quad (1)$$

Donde  $a_{H^+}$  es el coeficiente de actividad y  $f_{H^+}$  el factor de actividad

- **Capacidad Amortiguadora** según Clavijo (2002), es la capacidad que debe tener una solución amortiguadora de  $pH_c$  y  $pH$  en términos de número de moles (o equivalentes) de ácido fuerte o de base fuerte necesarios para disminuir o aumentar una unidad de  $pH_c$  respectivamente, por litro de solución buffer.

Para efecto del desarrollo de la estrategia, los autores proponen una expresión matemática que permite hallar la capacidad amortiguadora desde el enfoque moderno:

$$\beta_{(OH)} = C * (n\alpha_n + (n-1)\alpha_{(n-1)} + \dots + \alpha_1 - n\alpha'_n - (n-1)\alpha'_{(n-1)} - \dots - \alpha'_1)$$

$$\beta_{(OH)} = C * (n\alpha_n + (n-1)\alpha_{(n-1)} + \dots + \alpha_1 - n\alpha'_n - (n-1)\alpha'_{(n-1)} - \dots - \alpha'_1) \quad (2)$$

Donde  $\beta_{(OH)}$  es la capacidad amortiguadora frente a bases fuertes,  $\alpha_i$  y  $\alpha'_i$  son las fracciones alfa al pH inicial, ( $pH_i$ ) y al pH final del buffer ( $pH_f = pH_i + 1$ ) respectivamente, C la concentración analítica del buffer utilizado y, de acuerdo con la cantidad de especies, n indica el número de protones de la especie más protonada. De esta manera si una sustancia tiene cuatro fracciones alfa  $\alpha$ , ( $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$  y  $\alpha_3$ ), n será 3 y va disminuyendo hasta llegar a 1.

- **Efecto amortiguador o Buffer:** Dado que no se encuentra una definición formal los autores proponemos que este se determina de acuerdo a la cantidad de mmoles o mequivalentes de ácido/base fuerte necesarios para llevar a 50mL de una solución a pH 7.
- **Acidez titulable y acidez iónica:** la concentración total de ácidos libres presentes en una muestra que se determina por medio de una titulación con una solución de álcali estándar hasta alcanzar el punto de equivalencia (usando indicador o potenciómetro) es conocido como acidez titulable. La acidez iónica se expresa en unidades pH. Existen numerosos estudios teóricos y prácticos de laboratorio para aplicar los conceptos de pH, efecto

buffer y capacidad amortiguadora, que no incluyen el abordaje matemático que este artículo presenta. A nivel práctico se emplearon productos de la vida cotidiana como leche, yogurt, jugo y bebida gaseosa, de las cuales se describen las propiedades fisicoquímicas, haciendo énfasis en el pH y acidez titulable de referencia, (Ver tabla 1). El pH presente en el alimento es el resultado de los sistemas amortiguadores naturales que predominan en el mismo.

**Tabla N° 1:** Propiedades fisicoquímicas, pH y acidez titulable de referencia, de las bebidas objeto de estudio. Parámetros según las normas técnicas colombianas NTC 805 para Yogurt, NTC 2740 Bebidas gaseosas, NTC 506 leche entera pasteurizada, NTC 404, NTC jugos de frutas.

PRODUCTO	PROPIEDADES FISICOQUIMICAS	
	pH DE REFERENCIA	ACIDEZ TITULABLE DE REFERENCIA
<b>LECHE ENTERA UTH:</b> Se entiende por esta la leche sometida a un proceso tecnológico adecuado, que asegure la destrucción de los gérmenes patógenos, sin modificación sensible de su naturaleza fisicoquímica, características biológicas y cualidades nutritivas.	6.6 - 6.8	Acidez como Ácido Láctico en % m/v 0,14 - 0,19
<b>YOGURTH ENTERO CON TROZOS DE FRUTA:</b> Producto de la leche coagulada obtenida por fermentación láctica mediante la acción del lacto <i>bacillus bulgaricus</i> y <i>streptococcus termophilus</i> a partir de leche pasteurizada.	≤ 4,6	Acidez como Ácido Láctico en % m/v 0,80 - 1,50
<b>JUGO DE NARANJA:</b> Líquido obtenido al exprimir naranjas frescas y maduras, sin diluir, concentrar, ni fermentar y el cual es apto para consumo directo.	3.5 a 4.0	Acidez como Ácido Cítrico (g/100cm <sup>3</sup> ) 2.0.
<b>GASEOSA OSCURA CARBONATADA:</b> Solución acuosa no fermentada analcohólica, adicionada o no de edulcorantes, apta para consumo humano, que contiene anhídrido carbónico, mezcla de aditivos permitidos.	2,3 – 3,5	Acidez como Ácido Fosfórico con un límite de 0, 06%.

### 3.METODOLOGÍA

Esta estrategia didáctica se diseñó para ser aplicada a nivel universitario con estudiantes que cursen química analítica o para estudiantes de posgrado, la estrategia consta de las siguientes fases:

a. *Revisión bibliográfica de los conceptos:* para este fin, se tuvo en cuenta el enfoque matemático contemporáneo. Esta revisión contó con un minucioso estudio de los conceptos con el fin de ser concretos y claros en el momento de precisar y presentar los conceptos de pH, capacidad amortiguadora y efecto buffer, además se hizo la diferencia entre los conceptos de acidez titulable y acidez iónica.

b. *Presentación y ejecución del trabajo práctico de laboratorio:* este se apoyó en el método de titulación potenciométrica y se emplearon bebidas no alcohólicas tales como: leche, yogurt, jugo y gaseosa. Se partió de la preparación y estandarización de una solución aproximadamente 0,2 M de NaOH con Biftalato de potasio (KHP), a continuación la preparación de cada una de las muestras siguiendo los parámetros establecidos en las normas ICONTEC (NTC 805, 2740, 506, 404, 440, respectivamente) y finalmente se realizó una titulación ácido-base potenciométrica en un sistema abierto con adiciones en intervalos de 0,2 mL de NaOH aproximadamente 0,2 M, con el fin de registrar los datos de pH y volumen de base añadidos. Además se realizó un ensayo preliminar con cada uno de los productos y de esta manera se conoció en alguna medida el comportamiento ácido-base de la muestra.

c. *Abordaje matemático:* este abordaje tiene en cuenta el cálculo de la capacidad Amortiguadora teórica y experimental, el efecto buffer y la acidez titulable.

Para calcular la Capacidad Amortiguadora teórica se emplearon las fracciones  $\alpha$  determinadas a partir de los diagramas de distribución de especies (ver figuras 2, 3 y 4) cada una de estas fracciones indican que especies predominan en la reacción. Las fracciones se determinaron a pH inicial ( $\text{pH}_i$ ) y pH final ( $\text{pH}_f$ ) –teniendo en cuenta el aumento de una unidad de pH, partiendo del pH inicial obtenido en el laboratorio para cada producto. Luego se aplicó la ecuación (2), en la cual C es la concentración analítica del buffer utilizado.

A continuación, se determinaron las mmoles de base utilizadas para llevar cada producto a un pH de 7,0 que permitió calcular el Efecto Buffer, por último se calculó la acidez titulable, para esto se utilizó el valor de mL de álcali empleados para conseguir un pH de 8,2.

La capacidad amortiguadora teórica y experimental fueron comparadas al igual que la acidez titulable con los valores teóricos y/o de referencia respectivamente, (tabla 1), para realizar esta comparación los valores teóricos se expresaron en términos de concentración molar (M).

Diagramas de Distribución de Especies. Estos diagramas elaborados por los autores, muestran las especies predominantes de un sistema a un determinado pH. (Figuras 2, 3 y 4).

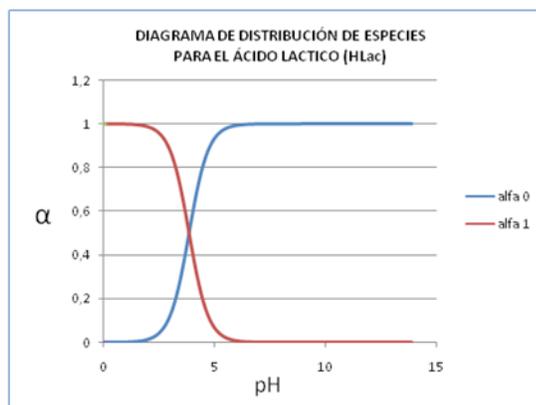


Figura 2. Diagrama de distribución de especies para el ácido láctico

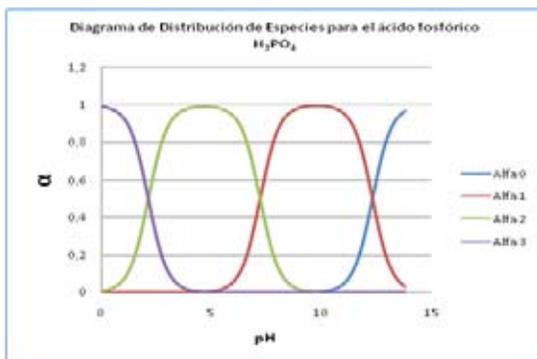


Figura 3. Diagrama de distribución de especies para el ácido fosfórico

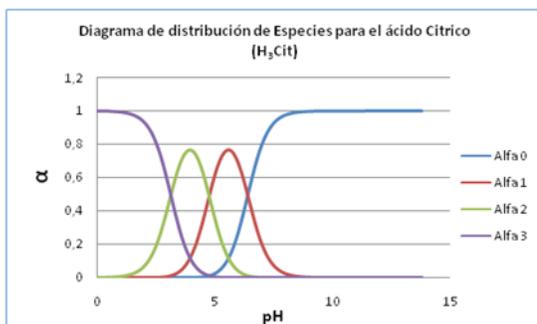


Figura 4. Diagrama de distribución de especies para el ácido cítrico

#### 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

El TPL propuesto aporta los datos con los que se realizaron los cálculos matemáticos y el análisis respectivo. La concentración de la solución NaOH trabajada fue de 0,197M, (estandarizada con KHP). A continuación se presentan las curvas de titulación de los cuatro productos utilizados, posteriormente las fracciones alfas empleadas para determinar la capacidad amortiguadora teórica de los productos. Es pertinente aclarar que la composición de los productos se asumió en términos del ácido predominante: ácido láctico, (leche y yogurt), ácido cítrico, (Jugo de naranja) y ácido fosfórico, (Gaseosa oscura).

##### Curvas de titulación

En las figuras 5, 6, 7 y 8, se presenta el valor de mL de base adicionados para aumentar una unidad de pH (color azul), para llevar la solución a pH 7 (color rojo), y la acidez titulable para cada uno de los productos utilizados (color amarillo).

Estos volúmenes permitieron determinar la Capacidad Amortiguadora experimental, el Efecto Buffer y Acidez Titulable de cada uno de los productos trabajados.

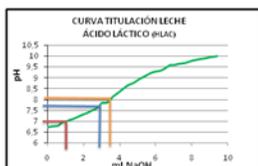


Figura 5. Curva de titulación para leche entera

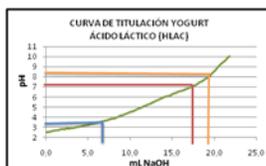


Figura 6. Curva de titulación para yogurt Guanábana

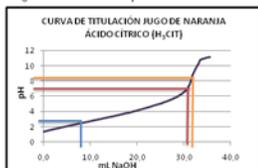


Figura 7. Curva de titulación para Jugo Naranja

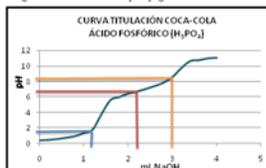


Figura 8. Curva de titulación para Gaseosa Coca-cola

Capacidad Amortiguadora Efecto Buffer Acidez

De acuerdo con las curvas de titulación, se puede evidenciar que la sustancia que necesitó más base para aumentar una unidad de pH fue el Jugo de naranja,(7,2 mL), seguido del yogurt de guanábana, (6,4 mL), posteriormente la leche, (3,0 mL) y por último se encuentra la bebida gaseosa, (1,0 mL). De

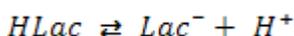
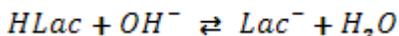
esta manera se puede observar que el producto con mayor capacidad amortiguadora es el jugo de naranja. También, se deduce que los productos se presentan en el mismo orden, (jugo, yogurt, leche y gaseosa), en cuanto al Efecto Buffer y acidez titulable se refiere. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 8.

## 5. ABORDAJE MATEMATICO

Los cálculos matemáticos se realizaron de la siguiente manera, primero se determinaron las fracciones alfa correspondientes para cada uno de los pH trabajados, luego se muestran las concentraciones de cada especie del ácido en la reacción con la base adicionada, y por último se halló la capacidad amortiguadora del producto. Para este fin se muestra el tratamiento matemático para la leche, de la cual la especie predominante es el ácido láctico.

Cálculos:

1. Determinación de las Fracciones alfa del ácido láctico.



$$Q_a = 10^{-pQa} \quad Q_a = 10^{-pQa} \quad ; \quad Q_a = 10^{-3.86} \quad Q_a = 10^{-3.86} \quad ; \quad C_A = [Lac^-] + [HLac]$$

$$C_A = [Lac^-] + [HLac]$$

Donde  $C_A$  es la concentración analítica del ácido.

$$\text{Considerando que } Q_a = \frac{[H^+][Lac^-]}{[HLac]}$$

$$[HLac] = \frac{[H^+][Lac^-]}{Q_a} \quad [HLac] = \frac{[H^+][Lac^-]}{Q_a}$$

Reemplazamos en  $C_A = [Lac^-] + [HLac]$   $C_A = [Lac^-] + [HLac]$ ,

$$C_A = [Lac^-] + \frac{[H^+][Lac^-]}{Q_a}$$

$$[Lac^-] * \left[ \frac{[H^+]}{Q_a} + 1 \right] [Lac^-] * \left[ \frac{[H^+]}{Q_a} + 1 \right]$$

$$C_A = [Lac^-] [1 + 10^{pQa-pH}]$$

$$C_A = [Lac^-] [FHA]$$

[FHA] denota el Factor de Protonación del anión que es igual a  $(1 + 10^{(pQa-pH)})$   $(1 + 10^{(pQa-pH)})$ , De esta manera tenemos

$$C_A = [Lac^-] * (1 + 10^{3.86-pH}) [Lac^-] * (1 + 10^{3.86-pH})$$

$$\alpha_0 = \frac{[Lac^-]}{C_A} = \frac{1}{FHA}$$

Donde  $\alpha_0$  es la fracción de la especie menos protonada,  $Lac^-$

Se calculan las Fracciones alfas a los dos pH,  $pH_i = 6,71$  y  $pH_f = 7,71$ , que corresponde a una unidad por encima.

pH 6,71 el FHA es 1.00141

$$\alpha_0 = \frac{1}{1,0041} = 0,99859 \quad \alpha_0 = \frac{1}{1,0041} = 0,99859$$

pH 7,71 el FHA es 1,00140

$$\alpha'_0 = \frac{1}{1,0040} = 0,99986 \quad \alpha'_0 = \frac{1}{1,0040} = 0,99986$$

$\alpha_0$ , nos ayuda a determinar  $\alpha_1$

$$\alpha_1 = \frac{[HLac]}{C_A} = \frac{[HLac]}{C_A} = \frac{[Lac^-]}{C_A} * \frac{[H^+]}{Q_a} = \alpha_0 \frac{[Lac^-]}{C_A} * \frac{[H^+]}{Q_a} = \alpha_0 * \frac{[H^+]}{Q_a} * \frac{[H^+]}{Q_a}$$

Donde  $\alpha_1$  es la fracción de HLac

A pH de 6,71

$$\alpha_1 = 0,99859 * 10^{3,86-6,71} \quad \alpha_1 = 0,99859 * 10^{3,86-6,71}$$

$$\alpha_1 = 1,41054 * 10^{-3}$$

A pH 7,71

$$\alpha_1 = 0,99986 * 10^{3,86-7,71} \quad \alpha_1 = 0,99986 * 10^{3,86-7,71}$$

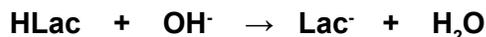
$$\alpha_1 = 1,41234 * 10^{-4}$$

pH \ $\alpha$	$\alpha_0$	$\alpha_1$
6,71	0,9985	1,414 * 10 <sup>-3</sup> 10 <sup>-3</sup>
7,71	0,9998	1,412 * 10 <sup>-4</sup> 10 <sup>-4</sup>

Tabla 2. Fracciones alfa. Leche Entera.

La concentración analítica del ácido láctico en la leche será:

$$C_A = \frac{3,8 \text{ mL} * 0,197 \text{ M} * \frac{1 \text{ mmol HLac}}{1 \text{ mmol OH}^-}}{50 \text{ mL}} = 0,015 \text{ M} \quad C_A = \frac{3,8 \text{ mL} * 0,197 \text{ M} * \frac{1 \text{ mmol HLac}}{1 \text{ mmol OH}^-}}{50 \text{ mL}} = 0,015 \text{ M}$$



**pH 6,71**    0,015 M \* 1,41\*10<sup>-3</sup>    0,011 M            0,015 M \* 0,9985

**pH 7,71**    0,015 M \* 1,41\*10<sup>-4</sup>    ---            0,015 M \* 0,9998

Donde las concentraciones del HLac<sup>-</sup> corresponden al producto entre  $\alpha_1$  a cada valor de pH y la concentración analítica del producto analizado, que se obtuvo a partir del volumen de punto de equivalencia, (3,8 mL) y la estequiometria de la reacción de titulación; idéntica consideración se aplica a Lac<sup>-</sup>. La cantidad de base que reacciona es la diferencia entre HLac a pH 6,71 y HLac a pH 7,71.

**Capacidad Amortiguadora ( $\beta$ ) de la leche como acido láctico:**

$$\beta = C (\alpha_1 1 - \alpha_1 1^{Tr} ) \alpha_1 1 - \alpha_1 1^{Tr} ) \quad (\text{de la ecuación 2})$$

Donde C es la concentración del producto en términos del ácido predominante,  $\alpha_1$   $\alpha_1$  indica la especie HLac, a pH<sub>i</sub> y  $\alpha_1$  es la especie HLac, a pH<sub>f</sub>

$$\beta \text{ OH}^- = 0,015 \text{ M} (1,41054 * 10^{-3} - 1,41233 * 10^{-4})$$

$$\beta \text{ OH}^- = 1,9 * 10^{-5} \text{ M}$$

**Capacidad amortiguadora experimental de la leche:**

$$\beta_{\text{exp(OH)}} = \frac{V * C_b}{\text{Alicuota (mL)}}$$

Donde V es el volumen de base añadida, C<sub>b</sub>, es la concentración de la base y alícuota representa la cantidad de muestra que se toma para la titulación.

$$\text{Así, } \beta_{\text{exp(OH)}} = \frac{2,9 \text{ mL} * 0,197 \text{ M}}{50,0 \text{ mL}} = 0,011 \text{ M} \quad \beta_{\text{exp(OH)}} = \frac{2,9 \text{ mL} * 0,197 \text{ M}}{50,0 \text{ mL}} = 0,011 \text{ M}$$

Fracciones alfa ( $\alpha$ ).

A continuación se muestran las fracciones alfa para las especies de los productos trabajados con sus respectivos ácidos. Es importante tener en cuenta que las fracciones debe emplearse con la mayor cantidad de cifras significativas posibles.

<b>FRACCIONES <math>\alpha</math> ÁCIDO LÁCTICO (leche)</b>		
pH	$\alpha_0$	$\alpha_1$
6,71	0,998	$1,410 \cdot 10^{-3}$
7,71	0,999	$1,412 \cdot 10^{-4}$

Tabla 3. Fracciones  $\alpha$  Hlac (Leche entera).

<b>FRACCIONES <math>\alpha</math> ÁCIDO LÁCTICO (Yogurt)</b>		
pH	$\alpha_0$	$\alpha_1$
2,51	0,043	0,957
3,51	0,309	0,691

Tabla 4. Fracciones  $\alpha$  Hlac (yogurt con trozos de guanábana).

<b>FRACCIONES <math>\alpha</math> ÁCIDO CÍTRICO (Jugo)</b>				
pH	$\alpha_0$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$
1,37	$6,49 \cdot 10^{-11}$	$6,95 \cdot 10^{-6}$	0,0171	0,9829
2,36	$5,63 \cdot 10^{-8}$	0,0006	0,148	0,8514

Tabla 5. Fracciones  $\alpha$  H<sub>3</sub>cit (para el jugo de naranja natural).

<b>FRACCIONES <math>\alpha</math> ÁCIDO FOSFÓRICO</b>				
pH	$\alpha_0$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$
0,35	$2,479 \cdot 10^{-21}$	$2,305 \cdot 10^{-9}$	0,017	0,9833
1,35	$2,147 \cdot 10^{-18}$	$2,004 \cdot 10^{-7}$	0,145	0,8548

Tabla 6. Fracciones  $\alpha$  H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> para la gaseosa oscura.

#### Capacidad amortiguadora teórica

<b>CAPACIDAD AMORTIGUADORA TEÓRICA</b>			
ÁCIDO LACTICO (pH 6,71-7,71 Leche)	ÁCIDO LACTICO (pH 2,5-3,5 Yogurt)	ÁCIDO CÍTRICO (pH 1,37-2,37 Jugo de naranja)	ÁCIDO FOSFÓRICO (pH 0,35-1,35)
0,011 M	0,020 M	$5,7 \cdot 10^{-3}$ M	$8,1 \cdot 10^{-4}$ M

Tabla 7. Capacidad Amortiguadora calculada con base en las fracciones alfa

**Resultados**

PRODUCTO	LECHE ENTERA	YOGUR DE GUANABANA	JUGO DE NARANJA NATURAL	GASEOSA COCA-COLA
<b>CAPACIDAD AMORTIGUADORA EXPERIMENTAL</b>	0,011 M	0,025 M	0,028 M	$3,94 * 10^{-3}$ M
<b>EFFECTO BUFFER</b>	0,236 mmol	3,427 mmolL	6,028 mmolL	0,473 mmolL
<b>ACIDEZ TITULABLE</b>	0,0149 M	0,077 M	0,124 M	0,118 M
<b>% ERROR CAPACIDAD AMORTIGUADORA</b>	0	25	391,2	386,4

**6. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Al comparar los valores de referencia con los obtenidos experimentalmente se presentó que la leche, el yogurt y el jugo de naranja se encuentran entre los rangos permitidos de pH y acidez titulable, sin embargo, esto no ocurre con la gaseosa ya que al realizar la medida de pH arrojó un valor inferior al de los parámetros de referencia y la acidez titulable sobrepasó el límite establecido que pudo ser debido al  $\text{CO}_2$  fijo presente en las bebidas gasificadas.

A pesar que la acidez de los productos se encontraba dentro de los rangos, al hallar el error relativo en la capacidad amortiguadora se aprecian algunos porcentajes altos que pueden ser debidos a errores operativos, (lectura en el volumen y pH) y/o instrumentales, (calibración de material volumétrico y equipos empleados), pero en buena medida, a que se está suponiendo que los productos analizados están constituidos únicamente por el ácido representativo.

Es importante mencionar la diferencia que existe entre acidez iónica y acidez titulable, esto se ve claramente evidenciado en el caso de la gaseosa, que aunque presenta un pH bajo la cantidad de álcali adicionada para conseguir el punto de equivalencia fue poca comparada con los demás productos empleados. Esto permite comprender que un valor de pH bajo no siempre indica un porcentaje de acidez alto.

Con respecto a las curvas de titulación, la gaseosa presentó un comportamiento no esperado, ya que con pocas adiciones de base, alcanzo rápidamente el pH alcalino correspondiente a la acidez titulable, siendo fácilmente visibles las secciones de la curva en las cuales el pH ascendía a 7 para efecto buffer y para los puntos de inflexión correspondientes al ácido predominante, fenómeno que no se presentó, por ejemplo, en la leche y el yogurt, productos en los cuales, la titulación aparece como un proceso ascendentemente lineal, que no muestra puntos de inflexión definidos, titulaciones en las cuales se puede interpolar la capacidad amortiguadora y el efecto buffer a partir del pH inicial, sin embargo, pese a esto, la leche y el yogurt presentaron una capacidad amortiguadora alta, cuestión que se refleja en la baja pendiente de las mismas curvas; para el caso del jugo de naranja, la primera sección de la curva antes del punto de inflexión, se aprecia una alta tendencia del producto mantener el pH en rangos cercanos sin diferencias mayores, pero, después del punto de equivalencia, la curva tiende a un aumento progresivo del pH, como consecuencia del comportamiento del ácido cítrico con adiciones de base.

Se infiere, de este análisis gráfico, que los productos que muestran una alta tendencia a mantener una baja pendiente, pese a grandes adiciones de base, son aquellos productos con una alta capacidad amortiguadora. Por otra parte, cuando se comparan los cálculos teóricos con los experimentales para la capacidad amortiguadora, es posible evidenciar grandes diferencias numéricas, esto se debe a que

en los cálculos teóricos se tiene en cuenta solo la especie acida predominante, mientras que en los cálculos con datos experimentales el resultado es el producto de la interacción de todas las especies del sistema y no solamente el ácido en cuestión. Eso muestra que el comportamiento de los amortiguadores presentes en los productos cotidianos no es igual a los que se fabrican en el laboratorio, ya que los primeros cuentan con más de una especie, la cual afecta la capacidad amortiguadora del producto. Además, los diagramas de distribución de especies permitieron determinar las fracciones alfa necesarias para el cálculo de la capacidad amortiguadora, la versatilidad en el empleo de estos diagramas radica en que se pueden encontrar los valores de las fracciones alfa en un valor de pH determinado, simplificando de esta forma los cálculos matemáticos. Para hallar el valor de la capacidad amortiguadora teórica se comprobó que la ecuación propuesta por los autores (citada en el marco teórico) es útil y aplicable en dichos cálculos, siempre y cuando se determinen previamente las fracciones alfa.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La estrategia propuesta permite un aprendizaje significativo y crítico de los conceptos de pH, Capacidad Amortiguadora, Efecto Buffer ya que se parte de un estudio conceptual y un abordaje matemático el cual se afianza en el trabajo práctico de laboratorio en donde se utilizan sistemas más complejos empleados en la vida cotidiana que permiten la aplicación de los conceptos aprendidos y la comparación de los valores teóricos con los obtenidos experimentalmente.

El TPL, permite abordar en conjunto los conceptos propuestos ya que la obtención de datos para realizar la curva de titulación proporciona los valores necesarios para establecer relaciones entre estos. A medida que se avanza en el proceso de titulación se obtienen los valores necesarios que se emplearán para los cálculos posteriores correspondientes para cada concepto, así: valor de pH inicial (acidez iónica), al aumentar una unidad de pH (capacidad amortiguadora), al llegar a pH 7.0 (efecto buffer) y finalmente a pH de 8.2 (acidez titulable).

Es posible mediante esta estrategia tener una visión más amplia de los sistemas que forman las soluciones amortiguadoras. Es así que el estudiante que profundiza en el concepto de pH y acidez titulable llega a la diferenciación entre estos; también la elaboración, análisis y utilización de los Diagramas de Distribución de Especies, le permite una comprensión más amplia de los sistemas buffer y la distribución de cada fracción en el rango de pH, al mismo tiempo que le proporciona elementos para los cálculos matemáticos correspondientes.

Además en la estrategia presentada se define el concepto de efecto buffer que aunque es utilizado para explicar comportamientos químicos de las sustancias no ha sido precisado formalmente en la literatura, adicionalmente a nivel teórico se propuso una expresión para calcular la capacidad amortiguadora de las soluciones buffer, que surge a partir del conocimiento químico de los equilibrios de las especies involucradas, la cual posteriormente fue aplicada efectivamente en los cálculos matemáticos.

Los productos de uso cotidiano empleados en esta estrategia, muestran la importancia de incluir en los Trabajos Prácticos de laboratorio sustancias inocuas para el ambiente y de fácil adquisición, que además permiten el análisis y aprendizaje significativo de las propiedades químicas ya citadas. Para la aplicación de esta estrategia se recomienda:

Realizar un estudio que incluya no solamente la comprensión teórica de los conceptos sino también su abordaje matemático y el análisis químico de los sistemas presentes previo al trabajo de laboratorio. Emplear diferentes productos dentro de los grupos seleccionados en este artículo (leche, yogurt, jugo, gaseosa) que permitan comparar las propiedades químicas objeto de estudio. Utilizar material previamente calibrado para minimizar errores de tipo instrumental. Preparar y estandarizar la solución de álcali que se vaya a utilizar.

**BIBLIOGRAFIA**

Ausubel, D. (1981). *Psicología educativa: Un punto de vista cognitivo*. México: Trillas.

Casas J. y Clavijo. A. *Diseño de soluciones amortiguadoras de pH: una perspectiva didáctica aplicando los diagramas de distribución de especies*. (Abril, 2006). Actas de las VII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Química. Disponible en: [www.fcn.unp.edu.ar/publicaciones/jornadasdequimica/publicaciones/TC16.pdf](http://www.fcn.unp.edu.ar/publicaciones/jornadasdequimica/publicaciones/TC16.pdf)

Clavijo, A. (2002). *Fundamentos de química analítica: equilibrio iónico y análisis química* (pp. 189 – 274). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

*Instituto Colombiano de Normas Técnicas*. (1996), NTC 805. (1990), NTC 2740. (1993), NTC 506. (1981), NTC 404. (1972) NTC 440. Bogotá, D.C.: ICONTEC

*Métodos oficiales de las normas de análisis de los alimentos*. (1994). Madrid: A. Madrid Vicente Ediciones. Mundi prensa libros.

*Normas de calidad de los alimentos*. (1990). (pp. 147-153 y 191-199). Madrid: Ediciones Vicente Madrid.

Potter, M y Hotchkiss, J. (1999). *Ciencia de los alimentos*. Zaragoza: Acribia.

Skoog, D y Leary, J. *Análisis instrumental*. Cuarta edición. Madrid: Mc Graw Hill, 1994. 935p.