

37

INDICADORES DE PH USANDO RECURSOS BIODEGRADABLES PARA LA ENSEÑANZA DE QUÍMICA EN ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS

PH INDICATORS USING BIODEGRADABLE RESOURCES FOR TEACHING CHEMISTRY IN UNIVERSITY STUDENTS

Sedolfo Jose Carrasquero Ferrer¹

E-mail: scarrasquero@uteg.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4725-963X>

¹Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Carrasquero Ferrer, S. J. (2023). Indicadores de pH usando recursos biodegradables para la Enseñanza de Química en estudiantes universitarios. *Revista Conrado*, 19(95), 347-355.

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue desarrollar indicadores de pH a partir de productos naturales como una herramienta didáctica en la enseñanza del equilibrio iónico en estudiantes universitarios de la asignatura Química. Se prepararon cuatro tipos diferentes de indicadores, estos se derivaron de col lombarda, cúrcuma, remolacha y fresa. El proceso de extracción de estos indicadores implicó el uso de etanol (96°) apto para laboratorio. Posteriormente, estos indicadores extraídos se sometieron a una serie de pruebas para determinar su eficacia en la detección de sustancias de uso cotidiano tanto ácidas como básicas. Para evaluar los resultados de este experimento, se seleccionó a un total de 58 estudiantes universitarios. Cada indicador presentó un buen viraje en sus tonalidades, lo que permitió realizar una aproximación al pH real de las sustancias. Para el caso de la cúrcuma, se observaron diversos tonos de amarillo cuando la sustancia fue ácida, mientras que para la col se apreció un espectro más amplio de colores que van desde el rosa, morado, azul y verde. Se obtuvo que 89% de los estudiantes consideraron que la realización de la sesión de laboratorio usando indicadores naturales les permitió obtener aprendizaje significativo de la teoría de ácidos y bases.

Palabras clave:

Indicadores naturales de pH, química verde, teoría ácido-base.

ABSTRACT

The objective of this research was to develop pH indicators from natural products as a teaching tool for teaching ionic balance to university chemistry students. Four different types of indicators were prepared, these were derived from red cabbage, turmeric, beet and strawberry. The extraction process of these indicators involved the use of laboratory ethanol with a concentration of 96 degrees. Subsequently, these extracted indicators were added to a series of tests to determine their effectiveness in detecting both acidic and basic substances. To evaluate the results of this experiment, a total of 58 university students were selected. Each indicator presents a good variation in its tones, which allows an approximation of the real pH of the substances. In the case of turmeric, different shades of yellow were observed when the substance was acidic, while for turmeric a broader spectrum of colors was seen ranging from pink, dark, blue and green. It was found that 89% of the students considered that carrying out the practical session allowed them to obtain significant learning in the theory of acids and bases.

Keywords:

Natural pH indicators, green chemistry, acid-base theory.

INTRODUCCIÓN

Los indicadores colorimétricos de pH han atraído la atención de muchos campos de la ciencia y la tecnología, principalmente debido a su fácil síntesis, amplia gama de colores, modo simple de funcionamiento y variedad de aplicaciones (Roy & Rhim, 2021). Se pueden utilizar para proporcionar información sobre el entorno circundante y/o el estado de los materiales; por ejemplo, alimentos durante el almacenamiento, el uso o el transporte (Etxabide et al., 2021). En este contexto, los colorantes naturales extraídos de materiales biodegradables como plantas y raíces, como la curcumina, la betacianina, las antocianinas y la clorofila, han mostrado sensibilidad de color al pH, lo que los convierte en indicadores adecuados (Chen et al., 2020; Qin, et al., 2020). El uso de colorantes naturales como indicadores de pH requiere un conocimiento detallado de su estabilidad frente a posibles procesos de degradación (Zheng et al., 2022; Liu et al., 2018; Zhai et al., 2017).

Los pigmentos naturales son de fácil acceso, fuente abundante, presentan seguridad en el manejo, un amplio rango de indicación y buena respuesta al pH. Se utilizan a menudo para el envasado inteligente, especialmente para el control de la frescura de los alimentos, esto se debe a que la acumulación de gases o sustancias volátiles durante el deterioro de los alimentos provoca cambios de pH en el entorno del envase, lo que cambia el color de los pigmentos y refleja la calidad de los alimentos (Bhargava et al., 2020; Sukhavattanakul & Manuspiya, 2021).

Dentro de estos pigmentos, las antocianinas existen ampliamente en plantas, como la fresa, la col morada y la batata morada. A menudo se utilizan en envases inteligentes de alimentos debido a su alta sensibilidad al color y sus buenas propiedades antibacterianas y antioxidantes (Yong & Liu, 2020). Tienen buena solubilidad en agua y en alcohol. Las antocianinas, en forma de flavilio, son rojizas y muestran una estabilidad relativamente alta en condiciones de fuerte acidez. A medida que aumenta el pH, las antocianinas cambian a una base quinoidal de color azul claro y su estabilidad disminuye. En condiciones alcalinas, las antocianinas son principalmente calcona amarilla (Yong & Liu, 2020). La estructura y el color de las antocianinas se muestran en la Figura 1.

Por otro lado la curcumina, es un derivado de isopreno con buena solubilidad en lípidos y puede extraerse de los rizomas de *Zingiberaceae* y *Araceae*, que tiene una variedad de efectos fisiológicos, como actividad antioxidante, anti-inflamatoria, anticancerígena y antipaludíca (Hassanpour et al., 2020). La curcumina muestra una menor estabilidad en condiciones ácidas (pH:3,6) que neutras (pH:7,0)

y alcalinas (pH = 10,5), y el color de la curcumina cambia gradualmente de amarillo brillante a naranja y luego a rojo marrón con un aumento del pH (Martínez, 2019).

Por su parte, las betalaínas son compuestos heterocíclicos solubles en agua que contienen nitrógeno, se encuentran ampliamente en animales y plantas, como la remolacha, la pitahaya y el nopal (Kanatt, 2020). A medida que se aumenta el pH, su color cambia de rojo azulado a azul violeta y amarillo marrón.

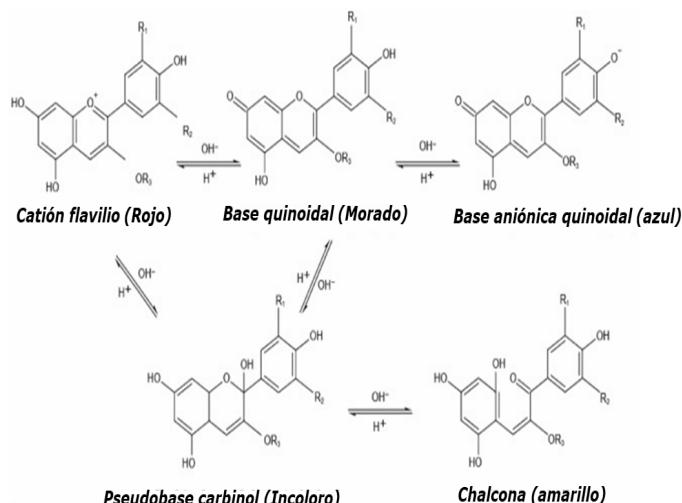


Figura 1. La estructura y el color en las antocianinas (Zheng et al., 2022).

Por otro lado, los educadores deben estar siempre estando experimentando e innovando. Un tema central en toda esta actividad es la idea de que el aprendizaje activo funcione mejor. El aprendizaje activo se define como cualquier método de instrucción que involucra a los estudiantes en el proceso de aprendizaje y valora su autonomía. Las actividades en laboratorios fomentan este tipo de aprendizajes porque cultivan las capacidades lógicas, así como mejoran las habilidades de resolución de problemas (Ardhanoui et al., 2021).

En ese sentido, el área educativa designada como laboratorio para el estudio de asignaturas como Química, sirve como un espacio en el que se alienta a los estudiantes a comprender y aplicar varios conceptos y teorías. Este esfuerzo tiene como objetivo prepararlos para participar en la investigación científica.

Los conceptos de equilibrio iónico, escala de pH, acidez y basicidad pueden enseñarse a través de prácticas de laboratorio con la utilización de productos naturales siguiendo los principios de la química verde. En este sentido, Dicks (2023) asegura que la química verde es fundamentalmente un enfoque para practicar la materia con

una perspectiva más responsable desde el punto de vista ambiental.

El uso del concepto de pH en la enseñanza de la química, específicamente con respecto a los indicadores naturales, es una práctica que en los últimos años ha sido reportada en varios trabajos (Uchoa et al., 2016). Debido a la practicidad de las mediciones de pH, este tipo de enfoque se puede aplicar fácilmente a numerosas clases experimentales orientadas a trabajar diferentes contenidos. El uso de indicadores naturales en sesiones de laboratorio demuestra la relevancia de la relación de experimentación y la posibilidad de aprender conceptos químicos (Moradi et al., 2019; Tang et al., 2019; Adusei et al., 2019; Jabeen et al., 2022).

Es por ello que esta investigación tuvo como objetivo desarrollar indicadores de pH a partir de productos naturales como una herramienta didáctica en la enseñanza de los principios de equilibrio iónico en estudiantes universitarios cursantes de la asignatura Química en el primer semestre de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil, Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se enmarcó en un nivel aprehensivo, con alcance descriptivo y un diseño de campo. La estructura metodológica seguida consistió en cinco aspectos, que comprendieron: el diseño de la práctica de laboratorio como estrategia didáctica para la conceptualización del equilibrio iónico, la preparación de los indicadores naturales, la preparación de las soluciones amortiguadoras, la aplicación de los indicadores a sustancias de uso común y la medición de la percepción y conocimiento adquirido por parte de los estudiantes. En la investigación participaron 58 estudiantes cursantes de la asignatura Química en el primer semestre de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil (UTEG), Ecuador.

- Preparación de los indicadores naturales.

Se elaboraron cuatro indicadores naturales a partir de col lombarda (*Brassica oleracea*), cúrcuma (*Curcuma longa*), remolacha (*Beta vulgaris*) y fresa (*Fragaria ananassa*) siguiendo el procedimiento recomendado por Val (2020). Para preparar las muestras de col lombarda, remolacha y fresa, se pesaron 70 g, 25g y 25g de las sustancias naturales, respectivamente. Posteriormente, la parte seleccionada se cortó en trocitos pequeños, de un tamaño aproximado a 1cm². Luego, se procedió con la extracción del indicador usando 150 mL etanol. El proceso consistió en calentar el producto natural durante 10 minutos junto

con el etanol, para luego enfriar a temperatura ambiente y filtrar por gravedad usando filtros cualitativos (Whatman) de diámetro de 125 mm.

Para el caso de la cúrcuma, se pesaron 20 g y se procedió con el proceso de extracción ya descrito. Los extractos obtenidos se almacenaron en frascos de color ámbar para su posterior utilización en la medición del pH en sustancias de uso común.

- Preparación de las soluciones buffer

Se prepararon disoluciones de: ácido clorhídrico, HCl, 1M y 0,1 M; ácido acético, CH₃COOH, 0,1 M; acetato de sodio, CH₃COONa, 0,1 M; cloruro de amonio, NH₄Cl, 0,1 M; amoníaco, NH₃, 0,1 M; hidróxido de sodio, NaOH, 0,1 M y 1 M, de acuerdo al procedimiento sugerido por Val (2020). A partir de estas disoluciones se han elaborado disoluciones reguladoras de ácido acético/acetato de sodio y cloruro amónico/amoníaco, utilizando las cantidades adecuadas para conseguir un espectro de pH de 1,0 a 13,00 unidades, y determinar la variación de color del indicador en cada solución y construir una escala de patrones estandarizados.

- Aplicación de los indicadores a sustancias de uso común

Se determinó cualitativamente el pH usando los indicadores naturales desarrollados. Se utilizaron doce sustancias de fácil consecución. Se colocaron 10 mL de cada sustancia en 12 tubos de ensayo, luego se agregó 1 mL del indicador natural, se agitó, se esperó 1 minuto, se observó el cambio de color y se comparó con la escala de patrón estandarizada obtenida en la sección anterior. De igual manera, el resultado se comparó con la medición realizada con un pH metro de laboratorio (Hach, China).

- Medición de las percepción y conocimiento adquiridos por parte de los estudiantes

Se midió la percepción de los estudiantes sobre la actividad de laboratorio adaptando el cuestionario realizado por Urquiza & Catota (2020), con 10 preguntas dicotómicas precisas y específicas. El cuestionario fue validado a través de la técnica de juicio de expertos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La col morada se parece al repollo o col convencional, aunque muestra un tono morado distintivo. Gracias a sus elementos constitutivos, representa un importante depósito de antioxidantes, incluidas las antocianinas, responsables de su pigmento rojizo o violáceo, así como los betacarotenos o compuestos de provitamina A, vitamina C y

azufre. La tabla 1 presenta la variación de color, pH real y medido con el indicador elaborador a partir de este producto vegetal.

Tabla 1. Comparación de los valores de pH reales y los obtenidos con el indicador natural de col morada.

Muestra	Color producido en la solución	pH obtenido con el indicador	pH real	Ácido o básico
Té de coca	Transparente tendiendo a azulado	7	7,6 ± 0,3	Ligeramente básico
Té de jamaica	Rosado	4	3,7 ± 0,1	Ácido
Vinagre	Rosado Intenso	3	2,8 ± 0,3	Ácido
Jabón líquido	Transparente tendiendo a azulado	7	7,0 ± 0,1	Neutro
Jugo de limón	Rojo	1	0,5 ± 0,1	Ácido
Hidróxido de sodio	Amarillo dorado	11	11,6 ± 0,7	Básico
Ácido clorhídrico	Rojo	1	0,5 ± 0,1	Ácido
Agua	Azul	7	7,0 ± 0,2	Neutro
Leche	Rosa violeta	6	6,7 ± 0,4	Ácido
Vinagre	Violeta	3	2,8 ± 0,2	Ácido
Cerveza	Rosa violeta	5	5,7 ± 0,2	Ácido
Leche de magnesia	Verde azulado	10	10,5 ± 0,3	Básico

n:3. Número de mediciones realizadas.

Fuente: Elaboración propia

Se observaron coloraciones que fueron desde los tonos rojizos como los obtenidos en las muestras muy ácidas (jugos de limón y ácido clorhídrico) hasta tonos amarillos dorados, cuando las muestras presentaron un pH muy básico como en el caso del hidróxido de sodio. Existió además buena correspondencia entre el pH medido de forma cualitativa usando el indicador natural y el pH medido con el pHmetro.

Además, la col lombarda presentó un amplio espectro de coloración entre los valores muy ácidos y muy básicos, pasando de tonos rosados, violetas, azules, y verde azulados. La muestra con pH neutro presentó una tonalidad azul clara. Esta variación de color en las muestras de soluciones de uso común se debe a la presencia de antocianinas en el extracto del indicador de la col morada. Las antocianinas son compuestos que sufren modificaciones estructurales en respuesta a la concentración de protones en la solución. En consecuencia, estas alteraciones en la estructura provocan variaciones en el color, exhibiendo así un espectro diverso de tonalidades que van del rojo al violeta, al azul e incluso al amarillo (Val, 2020).

Con respecto, al extracto natural obtenido de cúrcuma el espectro de colores producidos en las doce muestras analizadas fue reducido, obteniendo solo los colores amarillo intenso, amarillo, rojo, y rojo vino intenso (Tabla 2). Esto coincide con lo reportado en la literatura, Oliveira et al. (2021) obtuvo que al agregar gotas del indicador curcumina en una solución ácida incolora, está se volvió amarilla, y en una solución básica incolora, se volvió roja.

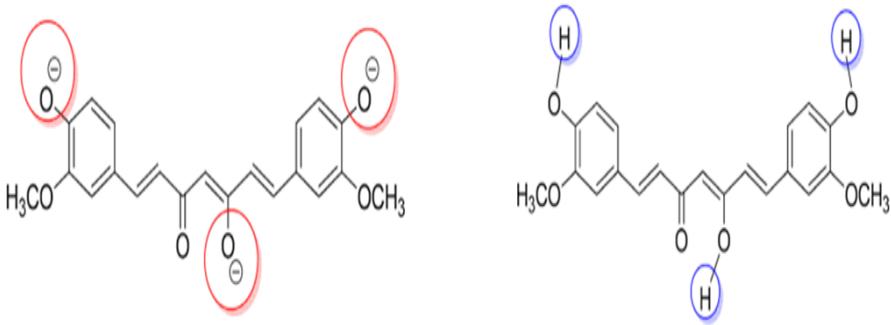
Tabla 2. Comparación de los valores de pH reales y los obtenidos con el indicador natural de cúrcuma

Muestra	Color producido en la solución	pH aproximado	pH real	Ácido o básico
Té de coca	Amarillo	1-7	7,6 ± 0,3	Ligeramente básico
Té de jamaica	Amarillo	1-7	3,7 ± 0,1	Ácido
Vinagre	Amarillo	1-7	2,8 ± 0,3	Ácido
Jabón líquido	Amarillo	1-7	7,0 ± 0,1	Neutro
Jugo de limón	Amarillo intenso	1-7	0,5 ± 0,1	Ácido
Hidróxido de sodio	Rojo vino intenso	10	11,6 ± 0,7	Básico
Ácido clorhídrico	Amarillo intenso	1-7	0,5 ± 0,1	Ácido
Agua	Amarillo	1-7	7,3 ± 0,2	Básico
Leche	Amarillo	-7	6,7 ± 0,4	Ácido

Vinagre	Amarillo	1-7	$2,8 \pm 0,2$	Ácido
Cerveza	Amarillo	1-7	$5,7 \pm 0,2$	Ácido
Leche de magnesia n:3. n: número de mediciones realizadas.	Rojo vino	10	$10,5 \pm 0,3$	Básico

Fuente: Elaboración propia

La curcumina es un cromóforo orgánico de origen natural, que presenta en su estructura tres protones ionizables dispuestos en la porción fenólica y enólica (Oliveira et al., 2021). El medio básico, con un pH entre 8,5 y 10,5, promovió la desprotonación de la curcumina, favoreciendo la forma enólica del compuesto, que presentó un color rojo (Figura 2a). En medio ácido, con pH entre 1 y 7, se observó el color amarillo en solución, lo que indica la presencia mayoritaria del equilibrio de cetoenol (Figura 2b).



a) Forma enólica de la curcumina

b) Protones ionizables de la curcumina

Figura 2 a, 2 b. Estructura de la curcumina (Oliveria et al., 2022).

Los resultados correspondientes al indicador obtenido de la remolacha se presentan en la Tabla 3. El indicador solo generó dos colores: rojo y violeta. Las soluciones básicas presentaron una tonalidad roja, intensa cuando la muestra era fuertemente ácida, y más clara cuando era débilmente ácida. Todas las sustancias con carácter básico presentaron una coloración violeta. El poder indicador de este producto natural se debe a las betalaínas, específicamente las betacianinas. Según Flores et al. (2019) bajo condiciones alcalinas, la betanina se degrada a ácido betalámico, y origina una coloración rojiza.

Tabla 3. Comparación de los valores de pH reales y los obtenidos con el indicador natural de remolacha.

Muestra	Color producido en la solución	pH aproximado	pH real	Ácido o básico
Té de coca	Rojo	2-9	$7,6 \pm 0,3$	Ligeramente básico
Té de jamaica	Rojo	2-9	$3,7 \pm 0,1$	Ácido
Vinagre	Rojo intenso	1-2	$2,8 \pm 0,3$	Ácido
Jabón líquido	Rojo claro	2-9	$7,0 \pm 0,1$	Neutro
Jugo de limón	Rojo intenso	1	$0,5 \pm 0,1$	Ácido
Hidróxido de sodio	Violeta	10	$11,6 \pm 0,7$	Básico
Ácido clorhídrico	Rojo intenso	2-9	$0,5 \pm 0,1$	Ácido
Agua	Rojo claro	2-9	$7,3 \pm 0,2$	Ligeramente Básico
Leche	Rojo claro	2-9	$6,7 \pm 0,4$	Ácido
Vinagre	Rojo claro	2-9	$2,8 \pm 0,2$	Ácido
Cerveza	Rojo claro	2-9	$5,7 \pm 0,2$	Ácido
Leche de magnesia n:3. n: número de mediciones realizadas.	Violeta intenso	10-13	$10,5 \pm 0,3$	Básico

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al indicador natural obtenido a partir de las fresas, se obtuvo un espectro que varió entre naranja, rojo, rosa claro, y morado (Tabla 4). Esto coincide con lo reportado por Val. (2020), quien reportó que los flavonoides son los

pigmentos vegetales que le confieren a estas frutas su color característico. El indicador permitió identificar las sustancias que tenía un carácter fuertemente básico mostrando una coloración morada. Por su parte, las sustancia que mostraron un carácter fuertemente ácido mostraron una coloración naranja.

Tabla 4. Comparación de los valores de pH reales y los obtenidos con el indicador natural de fresa.

Muestra	Color producido en la solución	pH aproximada	pH real	Ácido o básico
Té de coca	Rosa claro	4-11	7,6 ± 0,3	Ligeramente básico
Té de jamaica	Rosa claro	4-11	3,7 ± 0,1	Ácido
Vinagre	Rojo	2-3	2,8 ± 0,3	Ácido
Jabon líquido	Rosa claro	4.11	7,0 ± 0,1	Neutro
Jugo de limón	Naranja	1	0,5 ± 0,1	Ácido
Hidróxido de sodio	Morado intenso	12	11,6 ± 0,7	Básico
Ácido clorhídrico	Naranja	1	0,5 ± 0,1	Ácido
Agua	Rosa claro	4-11	7,3 ± 0,2	Ligeramente Básico
Leche	Rosa claro	4-11	6,7 ± 0,4	Ácido
Vinagre	Rosa claro	4-11	2,8 ± 0,2	Ácido
Cerveza	Rosa claro	4-11	5,7 ± 0,2	Ácido
Leche de magnesia	Morado	10 – 12	10,5 ± 0,3	Básico

n:3. n: número de mediciones realizadas

Fuente: Elaboración propia

El desarrollo de indicadores naturales se utilizó como estrategia didáctica para los estudiantes de Química quienes, en dos sesiones de laboratorio, cada una de dos horas, lograron identificar el carácter de diversas sustancias comunes. De igual manera, finalizada la práctica se les aplicó un cuestionario para medir la percepción de los experimentos realizados. De acuerdo a los resultados obtenidos, 90% por ciento de los estudiantes universitarios considero que las sesiones prácticas contribuyeron positivamente para el aprendizaje significativo de la teoría de ácidos y bases, bases fundamentales para comprender el equilibrio iónico (Figura 3). Esto puede deberse a que ven la aplicación de los extractos obtenidos en sustancias de uso cotidiano. De hecho, 84% de los estudiantes encuestados aseguro que es importante poder clasificar las sustancias analizadas como ácidas y básicas.

La simplicidad en el proceso de obtención permite que la actividad de laboratorio puede ser llevada incluso en las viviendas de los estudiantes, por lo que la estrategia didáctica también puede aplicarse para cursos que se dictan en línea. 84% de los encuestados considero que los materiales utilizados en la sesión son de fácil acceso; de igual manera, 92% de los estudiantes piensa que el proceso de obtención fue sencillo y práctico.

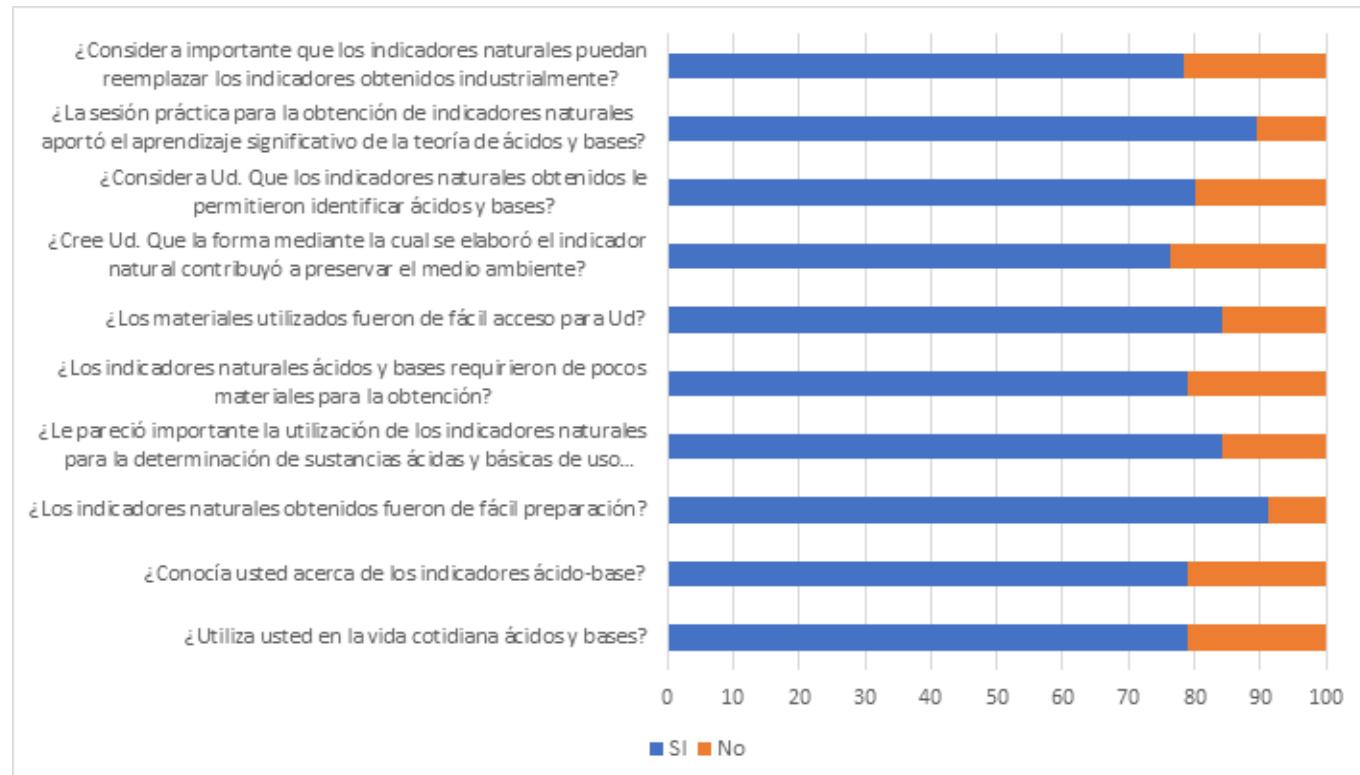


Figura 3. Percepción de estudiantes sobre los experimentos realizados para la obtención de indicadores naturales.

n:58. n: número de estudiantes.

Fuente: Elaboración propia

Los experimentos realizados brindan la oportunidad de evaluar la solidez de la teoría ácido-base mediante el empleo de indicadores colorimétricos. Desde esta perspectiva, el experimento no sirve únicamente como un mero elemento descriptivo del fenómeno objeto de investigación; por el contrario, el trabajo experimental sirve como un valioso instrumento que permite utilizar procedimientos estandarizados, que han sido respaldados y validados por la comunidad científica. Esto, a su vez, permite al estudiante analizar conjeturas, predicciones e hipótesis relacionadas con la esencia de las soluciones analizadas. Además, la documentación de los datos permite al estudiante compilar informes, analizar y deliberar sobre los hallazgos, lo que facilita la construcción del conocimiento personal e inculca la comprensión de que la ciencia se sitúa dentro de un paradigma teórico.

CONCLUSIONES

Cada indicador presentó un buen viraje en sus tonalidades, lo que permitió realizar una aproximación al pH real de las sustancias. Para el caso de la cúrcuma, se observaron diversos tonos de amarillo cuando la sustancia fue ácida, mientras que para la col se apreció una gama de color que va desde el rosa, lila, azul y azul verdoso.

Al finalizar la sesión experimental, 80% de los estudiantes afirmaron que los indicadores naturales les permitieron identificar las sustancias ácidas y básicas. Además, 89% consideran que la realización de la sesión práctica les permitió obtener aprendizaje significativo de la teoría de ácidos y bases.

Se concluye que es posible identificar sustancias ácidas y básicas mediante los cambios de color de los indicadores naturales de pH mediante la actividad didáctica desarrollada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adusei, E. B. A., Adosraku, R. K., Oppong-Kyekyeku, J., & Amengor, C. D. K. (2019). Investigation of Acid-Base Indicator Property of Plumbagin from *Plumbago zeylanica* Linn. *International journal of analytical chemistry*, 2019, 4061927-4061927. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/4061927>
- Ardhaoui, K., Serra, M., & Silva, S. (2021). Effects of new teaching approaches on motivation and achievement in higher education applied chemistry courses: A case study in Tunisia. *Education for Chemical Engineers*, 36, 160-170. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2021.05.004>
- Bhargava, N., Sharanagat, V. S., Mor, R. S., & Kumar, K. (2020). Active and intelligent biodegradable packaging films using food and food waste-derived bioactive compounds: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 105, 385-401. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.015>
- Chen, H., Zhang, M., Bhandari, B., & Yang, C. (2020). Novel pH-sensitive films containing curcumin and anthocyanins to monitor fish freshness. *Food Hydrocolloids*, 100, 105438. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105438>
- Dicks, A. (2023). Teaching greener & more sustainable analytical chemistry to undergraduates: Some strategies & tips. *Green Analytical Chemistry*, 7, 100082. <https://doi.org/10.1016/j.greeac.2023.100082>
- Etxabide, A., Kilmartin, P. A., & Maté, J. I. (2021). Color stability and pH-indicator ability of curcumin, anthocyanin and betanin containing colorants under different storage conditions for intelligent packaging development. *Food Control*, 121, 107645.
- Flores, M., Rentería, A., Sánchez, R., & Chávez, A. (2019). Estructura y estabilidad de las batalánas. *Interciencia*, 44(6), 318-325.
- Hassanpour, S., Rezaei, H., & Razavi, S. (2020). Anti-nociceptive and antioxidant activity of betaine on formalin- and writhing tests induced pain in mice. *Behavioural Brain Research*, 390, 112699. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2020.112699>
- Jabeen, M., Tariq, K., Rehman, A., Aslam, N., Zafar, A., & Ubaid, S. (2022). Evaluation of Improvised and Eco-Friendly Natural pH-Paper Indicators. *Frontiers in Chemical Sciences (FCS)*, 3(2), 22-31.
- Kanatt, S. (2020). Development of active/intelligent food packaging film containing Amaranthus leaf extract for shelf life extension of chicken/fish during chilled storage. *Food Packaging and Shelf Life*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100506>.
- Liu, J., Wang, H., Wang, P., Guo, M., Jiang, S., Li, X., & Jiang, S. (2018). Films based on k-carrageenan incorporated with curcumin for freshness monitoring. *Food Hydrocolloids*, 83, 134–142. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.012>
- Martínez, J. (2019). New insights on the chemical stability of curcumin in aqueous media at different pH: Influence of the experimental conditions. *International Journal of Electrochemical Science*, 5373–5385. <https://doi.org/10.20964/2019.06.24>
- Moradi, M., Tajik, H., Almasi, H., Forough, M., & Ezati, P. (2019). A novel pH-sensing indicator based on bacterial cellulose nanofibers and black carrot anthocyanins for monitoring fish freshness. *Carbohydr Polym.*, 15(222), 115030. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115030>
- Oliveira, D., Bezerra, L., Oliveira, R., Moraesa, V., Batista, J., Freitas, J., Rufino, J., & Ramosa, C. Curcumina como indicador natural de pH: Uma abordagem teórica-experiencial para o ensino de química. *Quim. Nova*, 44(2), 217-223. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170625>.
- Qin, Y., Liu, Y., Zhang, Y., & Liu, J. (2020). Development of active and intelligent packaging by incorporating betalains from red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel into starch/polyvinyl alcohol films. *Food Hydrocolloids*, 100, 105410, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105410>.
- Roy, S. & Rhim, J. (2021). Anthocyanin food colorant and its application in pH-responsive color change indicator films. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(14), 2297-2325.
- Sukhavattanakul, P. & Manuspiya, H. (2021). Influence of hydrogen sulfide gas concentrations on LOD and LOQ of thermal spray coated hybrid-bacterial cellulose film for intelligent meat label. *Carbohydrate Polymers*, 254, 117442. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117442>
- Tang, B., He, Y., Liu, J., Zhang, J., Li, J., Zhou, J., Ye, Y., Wang, J., & Wang, X. (2019). Kinetic investigation into pH-dependent color of anthocyanin and its sensing performance. *Dyes and pigments*, 170, 107643. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2019.107643>
- Uchoa, V., Carvalho, R., Lima, A., & Assis, J. (2016). Utilizacão de plantas ornamentais como novos indicadores naturais ácido-base no ensino de Química. *Hilos*, 32(2), 152-165. <https://doi.org/10.15628/hilos.2016.3869>
- Urquiza, E. & Catota, S. (2020). *Indicadores naturales como recursos para el aprendizaje de ácidos y bases en estudiantes del segundo semestre de Pedagogía de las Ciencias Experimentales de Química y Biología* [Trabajo de grado para optar al título de Licenciado en Educación, mención Ciencias, Biología, Química y Laboratorio. Universidad Nacional del Chimborazo, Riobamba].
- Val, O. (2020). Estudio de sustancias naturales como indicadores de pH. Una propuesta didáctica. *An. Quím.*, 116(2), 88-9.

Yong, H. & Liu, J. (2020). Recent advances in the preparation, physical and functional properties, and applications of anthocyanins-based active and intelligent packaging films. *Food Packaging and Shelf Life*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100550>

Zhai, X., Shi, J., Zou, X., Wang, S., Jiang, C., Zhang, J., Huang, X., Zhang, W., & Holmes, M. (2017). Novel colorimetric films based on starch/polyvinyl alcohol incorporated with roselle anthocyanins for fish freshness monitoring. *Food Hydrocolloids*, 69, 308–317. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.02.014>

Zheng, L., Liu, L., Yu, J., & Shao, P. (2022). Novel trends and applications of natural pH-responsive indicator film in food packaging for improved quality monitoring. *Food Control*, 134, 108769. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108769>