

Colores y números: extractos vegetales como indicadores de pH

Colors and numbers: natural extracts as pH indicators

Sofia Corinaldesi, Milena Intrieri, Florencia Abdala, Laureana Gonzalez, Ailin Salvai Destain, Diana Constenla y Andres Ciolino¹

Resumen

En este trabajo se reporta el uso de un indicador de pH obtenido a partir de la mezcla de algunos pigmentos orgánicos naturales. El indicador se propone como una herramienta económicamente accesible y medioambientalmente amigable para actividades de laboratorio que involucren conceptos como titulaciones ácido-base o escala de pH. La propuesta se presenta como un aprendizaje efectivo que une análisis cuali y cuantitativo, permitiendo cubrir diversos tópicos del currículum, tales como procesos de extracción, colorimetría, estadística y análisis de datos, indicadores naturales y escala de pH.

Palabras clave: Química analítica, Prácticas químicas, Ácido-base, Análisis de datos, Escala de pH, Métodos cuali y cuantitativos.

Abstract

A pH-indicator obtained from mixtures of natural pigments extracts is presented as an economically feasible and environmentally friendly laboratory activity. Optimal mixtures, with well-defined pH-ranges and colors for acid, neutral and basic media were observed. The work is presented as a hand-on activity that links qualitative & quantitative analysis, and it is proposed as an efficient tool for covering several basics from curriculum, such as extraction processes, colorimetry, data & statistics, natural indicators, and pH.

Keywords: Analytical chemistry, Chemical Practices, Acid-base, Data Analysis, pH Scale, Qualitative and Quantitative Methods.

CÓMO CITAR:

Corinaldesi, S., Intrieri, M., Abdala, F., Gonzalez, L., Salvai Destain, A., Constenla, D., y Ciolino, A. (2024, julio-septiembre). Colores y números: extractos vegetales como indicadores de pH. *Educación Química*, 35(3). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2024.3.87494>

¹ Departamento de Ingeniería Química - Universidad Nacional del Sur (DIQ-UNS). Avda. Alem 1253, Cuerpo C', Primer Piso. (8000) Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.

Introducción

Los pigmentos naturales determinan los colores de las diferentes sustancias debido a la presencia de sus grupos cromóforos, quienes capturan energía de la luz natural excitando electrones desde orbitales de baja energía a orbitales superiores, reflejando la energía no absorbida como un color visible para el ojo humano (Rodríguez-Mena et al. 2023). En el caso específico de los vegetales, sus colores provienen de la interacción de la luz visible con tres compuestos químicos característicos: clorofillas, carotenoides y antocianinas, responsables de los colores verdosos, amarillentos/rojizos y azulados/violáceos tanto en frutas y verduras como en plantas y flores (Delgado-Vargas et al., 2000). La naturaleza e intensidad de los colores en los pigmentos naturales dependen de muchos factores, por ejemplo, la concentración de éstos en una determinada especie o los valores de pH del medio. En general, muchos pigmentos naturales o artificiales se utilizan como indicadores de pH en diversos protocolos de laboratorio (Chigurupati et al. 2002; Abugri et al. 2012; Macuvele et al. 2016; Foster y Gruntfest 1937; Foster 1978; Linder et al. 2019) y también se utilizan para fabricar tiras de pH, que fácilmente se obtienen sumergiendo un papel absorbente en extractos acuosos del pigmento en cuestión y dejando secar (Casas Mateu et al, 2009; Metheny et al, 2017).

Una búsqueda con las palabras clave “pigmentos” e “indicadores” en la Revista *Educación Química* proporciona (entre otros) artículos donde se reporta el uso de extractos naturales encapsulados en perlas de alginato, empleadas como indicadores de pH (Obaya Valdivia et al., 1998); la obtención de extractos de *Hibiscus rosa-sinensis* y de *Catharanthus roseus* para fabricar tiras indicadoras de pH (Moreno Palácio et al., 2012); el empleo de extractos vegetales para determinar el pH de sustancias de uso cotidiano (de Cassia Martins et al., 2017); y la obtención de extractos acuosos y etanólicos de *Curcuma sp.*, *Solenostemon sp.*, *Phaseolus sp.* y *Tradescantia sp.* para determinar valores de pH y su evolución en el tiempo (Badotti da Silva et al., 2018). En todos estos trabajos los extractos naturales se utilizan desde un punto de vista cualitativo, poniendo énfasis en los cambios de color como indicativos del valor del pH de la sustancia o medio en cuestión, pero sin profundizar en otros aspectos cuantitativos que podrían ser de interés tanto didáctico como pedagógico.

Teniendo en cuenta estos antecedentes, en este trabajo se presenta la extracción y combinación de una mezcla de extractos acuosos de pigmentos naturales de col lombarda, fresa, remolacha azucarera y berenjena morada, y su caracterización colorimétrica y empleo como indicador de titulación ácido/base. El trabajo surge como resultado de las actividades llevadas a cabo por un grupo de estudiantes de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Sur (Bahía Blanca, Argentina) en la Asignatura “Laboratorio de Ingeniería Química”. La actividad se propone como un enfoque nuevo en el abordaje de los pigmentos naturales como indicadores de pH y se considera una propuesta simple, efectiva, económicamente viable y medioambientalmente amigable, que puede emplearse tanto en instituciones de educación secundaria como en cursos universitarios introductorios a la ciencia química (Viches y Gil Pérez, 2013) y que se ajusta a la “escala verde” propuesta por Morales Galicia et al. en *Educación Química* (Morales Galicia et al, 2011). Finalmente, también se propone como una alternativa válida para introducir fundamentos básicos del análisis estadístico de datos experimentales.

Materiales y métodos

La col lombarda (*Brassica oleracea* var. *capitata f. rubra*), las fresas (*Fragaria*), las remolachas azucareras (*Beta vulgaris vulgaris* var. *altissima*) y las berenjenas moradas (*Solanum melongena*) se adquirieron en mercados y verdulerías locales. Los extractos se obtuvieron a partir de remolachas azucareras sin cáscaras, berenjenas moradas con y sin cáscara, y col lombarda y fresas sin pelar. Las frutas y/o vegetales frescos se cortaron en trozos, de geometría aproximadamente cúbica (@ 2,0 cm de lado o trozos de longitud similar en el caso de la col lombarda). Las piezas cortadas se sumergieron en agua destilada y se calentó a ebullición, manteniendo la mezcla a esta temperatura durante 10 minutos. Despues de enfriar, la solución coloreada obtenida se filtró empleando un papel de filtro marca Quanty (Brasil, 11 cm diámetro, 28 mm de poro) y se recogió en una botella opaca, que luego se almacenó a temperatura ambiente. Las proporciones vegetales/agua empleadas para obtener los extractos variaron de acuerdo a cada vegetal, asegurando el contacto entre las piezas cortadas y el solvente para aumentar la eficiencia de extracción (Zhang y Ye, 2018). En todos los casos, el volumen de agua al menos duplicó al del vegetal para asegurar una buena extracción de los pigmentos deseados.

Para analizar el comportamiento frente al pH de los diferentes extractos se emplearon medidores de pH marca Altronix ($\pm 0,001$) y marca Pal Plus ($\pm 0,01$) y disoluciones de NaOH y de HCl de diferentes concentraciones (disponibles en el laboratorio o que se prepararon en el momento, cuyas concentraciones variaron entre 0,1 y 2 M) para alcanzar valores fijos de pH. Las mezclas se analizaron empleando un colorímetro marca Konica Minolta Sensing® CR-10 ($\pm 0,1$), en el modo Hunter Lab. Para el análisis se empleó una cubeta de vidrio óptico (@ 10 mL de capacidad) y una loseta de metal, de color blanco, como fondo y referencia de los valores de los parámetros "L", "a" y "b" para la cubeta sin muestra (Gilchrist y Nobbs, 2017). Los valores de croma (C^*) para cada extracto se calcularon a partir de los parámetros "a" y "b" de Hunter, a valores de pH seleccionados, según la ecuación que se muestra a continuación (Konica Minolta 2007):

$$C^* = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (\text{ecuación 1})$$

Todas las mediciones se realizaron por triplicado para recopilar datos representativos. Los valores promedio de C^* se obtuvieron para las mezclas de extractos A y B (explicadas más adelante en el texto, en la sección de Resultados y discusión) y para cada valor de pH. A partir del análisis de los datos se determinó el comportamiento del parámetro en función de los valores de pH.

Con esas mezclas también se obtuvieron tiras indicadoras de pH empleando trozos de papel absorbente de 1,5 cm x 10,0 cm, que se sumergieron durante 1 minuto en mezclas seleccionadas de extractos. Posteriormente, se secaron a temperatura ambiente bajo campana extractora o con aire caliente empleando un secador de pelo convencional, durante 5 minutos. Las tiras así obtenidas se usaron para determinar en forma cualitativa el pH de disoluciones características.

Las titulaciones ácido/base se realizaron a partir de disoluciones estándar de HCl $0,0996 \pm 0,0001$ M (ACS, Cicarelli, Argentina) y de Na(OH) $0,1000 \pm 0,0002$ M (ACS, Cicarelli, Argentina) empleando fenolftaleína y la mezcla B de extractos naturales como indicadores. Para ello, se colocaron 5,00 mL de HCl en un matraz Erlenmeyer al que se le adicionaron 5,00 mL de agua destilada y unas gotas del indicador elegido. Se tituló la

solución ácida desde una bureta previamente cargada con la solución estándar de Na(OH), eligiéndose como punto final de la titulación el cambio de incoloro a rosa pálido (para fenolftaleína) o de rosado a violáceo (para el extracto vegetal analizado). Los resultados de las valoraciones se analizaron estadísticamente, empleando la herramienta Excel® 16.0 del paquete Office® de Microsoft®.

Para todas las experiencias se utilizaron gafas de seguridad y guantes de nitrilo para la manipulación de los diferentes reactivos. Dado que la mayoría de los residuos generados en las experiencias son disoluciones acuosas con diferentes valores de pH, se desecharon en contenedores para disoluciones acuosas no neutras. Cuando fue necesario, se prepararon disoluciones concentradas de HCl ó Na(OH) a partir de los reactivos comerciales, tomando los recaudos correspondientes y utilizando la campana extractora.

Resultados y discusión

Caracterización de extractos

Después de obtener los diferentes extractos acuosos de vegetales y frutas, y antes de ensayar diferentes combinaciones, se analizó su comportamiento a diferentes valores de pH. Se cubrió todo el rango de la escala añadiendo gotas de disoluciones concentradas de HCl o Na(OH) para llegar al valor deseado de pH. La Figura 1 muestra, en forma esquemática, los colores obtenidos para los diferentes extractos vegetales y valores de pH.

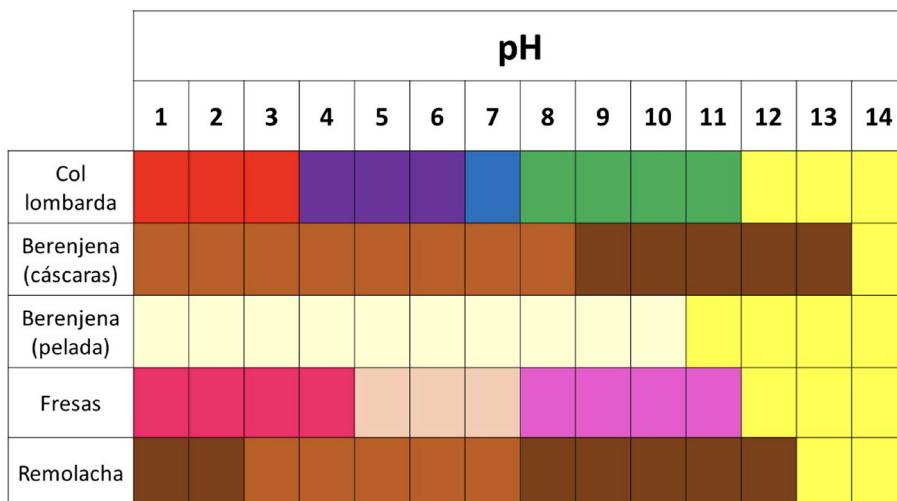


FIGURA 1. Representación esquemática de los colores observados para los extractos vegetales estudiados a diferentes valores de pH.

Como se observa en la figura, a valores de pH altos, el color predominante para todos los extractos es el amarillo, mientras que para el resto de la escala se observan diferentes colores y tonalidades que dependen del vegetal estudiado. Para la col lombarda se obtuvo una paleta multicolor que varía desde tonalidades rojizas a amarillentas, pasando por tonalidades violáceas, azuladas y verdosas. Los extractos de berenjena morada se obtuvieron a partir del vegetal con y sin cáscara. En los trozos vegetales con cáscara se obtuvo una gama de colores marrones rojizos a marones oscuros, mientras que al utilizar el vegetal pelado se obtuvo una paleta donde predominan los colores amarillentos claros e intensos. Para el extracto de fresas se observó una paleta de colores en la gama de los rosados/rojizos/morados. Finalmente, para el extracto de remolacha se observaron tonalidades marrones rojizas, mucho más intensas en los extremos de la escala.

Teniendo en cuenta la gama de colores de los distintos extractos se prepararon diferentes mezclas, donde el extracto de col lombarda fue el componente de mayor proporción en volumen. Se consideraron óptimas aquéllas en las que el color del pH neutro se distinguía claramente del correspondiente a las disoluciones ácidas o básicas. Despues de evaluar diferentes combinaciones, las mezclas que proporcionaron los resultados más significativos se describen a continuación.

Mezcla A: se combinaron los siguientes extractos: 50 % v/v de col lombarda, 35 % v/v de berenjena morada (con cáscara) y 15 % v/v de extracto de fresa. Mediante una simple inspección visual, esta mezcla presenta una paleta de colores de pH dividida en cinco rangos de pH distinguibles. La mezcla proporciona colores rojizos para valores de pH comprendidos entre 1 y 3 (disoluciones ácidas fuertes); violetas claros en el rango de pH comprendido entre 4 y 6 (disoluciones ácidas débiles); violeta intenso a pH = 7 (valor de pH neutro); verdosos para valores de pH comprendidos entre 8 y 10 (disoluciones básicas débiles); y finalmente, colores marrones a amarillentos en el rango de pH comprendido entre 11 y 13 (disoluciones básicas fuertes).

Mezcla B: como una opción más económica, se reemplazó el extracto de fresa por extracto de remolacha azucarera en la mezcla y se utilizó el extracto de berenjena morada sin cáscara. La paleta de colores del extracto de remolacha azucarera mostró una profunda intensidad de colores rojos y violetas a ambos lados del valor de pH neutro. Teniendo en cuenta esto, y después de varias pruebas, se encontró que la mezcla preparada a partir de 45 % v/v de extracto de col lombarda, 45 % v/v de extracto de berenjena morada sin cáscara y 10 % v/v de extracto de remolacha azucarera era la óptima. Por simple inspección visual (con la única excepción de pH = 13, de color amarillo muy intenso), la mezcla presentó una paleta de colores dividida en tres rangos de pH bien distinguibles: colores rojizos/ rosados para disoluciones ácidas; un color violáceo a pH = 7 (valor de pH neutro); y colores verdosos/amarillentos para disoluciones básicas.

Análisis colorimétrico

Se realizaron al menos 3 mediciones de los parámetros “a” y “b” en cada uno de los valores de pH estudiados, obteniéndose los valores correspondientes de C^* , calculados según la ecuación (1). Los resultados obtenidos se muestran a continuación en la Tabla 1.

pH ($\pm 0,1$)	Mezcla A			Mezcla B		
	a ($\pm 0,1$)	b ($\pm 0,1$)	$C^* (\pm 0,1)$ #	a ($\pm 0,1$)	b ($\pm 0,1$)	$C^* (\pm 0,1)$ #
1,0	28,3	16,3	32,6	36,9	17,1	40,6
2,0	26,4	18,7	32,3	37,9	16,8	41,4
3,0	24,9	16,7	30,0	34,5	8,90	35,6
4,0	16,1	2,20	16,3	21,4	2,80	21,6
5,0	14,5	0,20	14,5	13,4	2,10	13,6
6,0	9,70	0,00	9,70	8,3	1,20	8,40
7,0	1,70	-1,30	2,10	0,00	2,40	2,40
8,0	-8,30	2,30	8,60	-5,90	7,80	9,80
9,0	-8,90	4,30	9,90	-6,90	12,4	14,2
10,0	-8,20	5,40	9,80	-6,80	16,6	18,0
11,0	3,30	33,1	33,3	-2,30	24,1	24,2
12,0	3,90	33,0	33,2	4,30	33,3	33,6
12,5	3,10	34,7	34,9	7,60	41,2	41,9

TABLA 1. Valores experimentales de los parámetros de color “a” y “b”, y valor calculado del parámetro C^* en las Mezclas A y B para cada valor de pH analizado.

Calculado según la ecuación 1. Los valores de “a” y “b” informados corresponden al promedio obtenido de al menos 3 (tres) réplicas.

La Figura 4 permite visualizar gráficamente los valores reportados en la Tabla 1. Puede observarse una variación mucho más suave en los valores de C^* para la *Mezcla B* comparada con la *A*, mostrando ambas un mínimo para el valor de pH neutro. Este resultado permite inferir que ambas formulaciones distinguen un color característico para el valor de pH = 7, que lo diferencia del resto de los valores estudiados. Con este resultado, el paso siguiente fue verificar su utilidad para obtener tiras reactivas.

Comportamiento colorimétrico

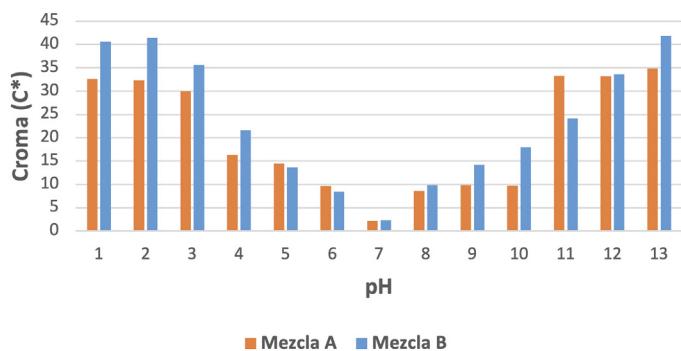


FIGURA 4. Variación de los valores calculados de C^* para las mezclas de pigmentos naturales estudiadas.

Desempeño de la Mezcla A como indicador ácido/base en tiras reactivas

La Figura 5 permite observar el desempeño de las tiras obtenidas para la *Mezcla A* en las disoluciones de prueba ensayadas. Se observa que las tiras adquieren los colores rojizo ($1 < \text{pH} < 4$), rosado ($4 < \text{pH} < 7$), violáceo/azulado ($7 < \text{pH} < 10$) y verde amarillento ($10 < \text{pH} < 14$) a medida que aumentan los valores de pH de las disoluciones acuosas ensayadas. Esta observación concuerda con lo discutido anteriormente respecto de la paleta de colores obtenida para la mezcla. Un comportamiento similar pudo observarse cuando en vez de sumergir las tiras en las disoluciones se agregaban gotas sobre ellas.

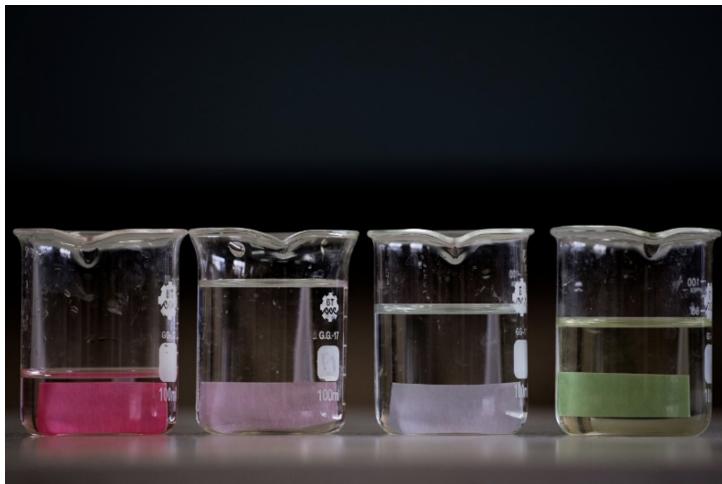


FIGURA 5. Tiras reactivas obtenidas a partir de la *Mezcla A* sumergidas en disoluciones acuosas con distintos valores de pH. De izquierda a derecha, disoluciones 0,1 M de: HCl; NH_4Cl ; Na_2CO_3 ; y de $\text{Na}(\text{OH})$.

Una observación importante para esta experiencia es que las tiras reactivas que se obtienen por secado a temperatura ambiente permiten observar mejor el desarrollo de color que las que se secaron con aire caliente empleado el secador de pelo. Esta diferencia podría deberse a la degradación de algunos de los pigmentos de la mezcla por aumento de

la temperatura. Por su parte, la *Mezcla B* tuvo un comportamiento similar al de la *Mezcla A*. Probadas las eficiencias de las mezclas como indicadores cualitativos, la actividad final consistió en evaluar su utilidad como indicador ácido/base con fines cuantitativos.

Desempeño de la Mezcla B como indicador ácido/base en reacciones de titulación

Con el objetivo de determinar si alguna de las mezclas estudiadas podría ser empleada como un indicador ácido/base confiable en reacciones de titulación estándar, se evaluó el desempeño de la *Mezcla B* frente a fenolftaleína, un indicador sintético convencional. La elección de la *Mezcla B* por sobre la *Mezcla A* se justifica por dos motivos: primero, es la opción económica más favorable (el precio de la remolacha azucarera por kilogramo es mucho más barato que el de las fresas); segundo, es la mezcla que presenta menos tonalidades de pH, pudiéndose distinguir 3 colores bien diferenciados a pH ácidos (rosado, pH < 7), neutro (violáceo, pH @ 7) y básicos (verde, pH > 7) (Figura 6). Se pidió a un laboratorista entrenado que realizara titulaciones ácido/base empleando el pigmento sintético (fenolftaleína) o la *Mezcla B* como indicador del punto final de la reacción, permitiéndole realizar algunos ensayos preliminares con la *Mezcla B* antes de que realizara las titulaciones comparativas correspondientes.



FIGURA 6. Colores obtenidos para la titulación ácido/base empleando la *Mezcla B* como indicador. Antes (izquierda) y después (derecha) del punto de equivalencia (centro).

Los resultados cuantitativos obtenidos en las titulaciones realizadas por el laboratorista entrenado se muestran en la Tabla 2.

TABLA 2. Resultados experimentales obtenidos para la titulación de HCl patrón con Na(OH) patrón empleando fenolftaleína o *Mezcla B* como indicadores.

	Mezcla B	fenolftaleína
Volúmenes de solución de Na(OH) 0, 1000 +/- 0,0002 M empleados ($\pm 0,05$ mL)	5,10 5,15 5,15 5,10 5,15 5,15	5,15 5,15 5,15 5,00 5,10 5,20
Intervalo de confianza t (mL)	$5,13 \pm 0,03$	$5,12 \pm 0,07$
Concentración esperada (M)	0,0996	
Concentración obtenida (M)	0,1027	0,1025
Valor p (a = 0,05)	0,741	
Error absoluto	0,0031	0,0029
Error relativo %	3,1	2,9

Se puede observar que no existen diferencias estadísticamente significativas respecto de fenolftaleína en el uso de la *Mezcla B* como indicador ácido/base (p valor $> a = 0,05$; test-*Student* para muestras pareadas). En tal sentido, puede concluirse que la *Mezcla B* es una opción medioambientalmente amigable, con un desempeño comparable al de un indicador sintético convencional, proporcionando una serie de datos confiables que permiten discutir diferentes tópicos del currículum, como por ejemplo estructura química de los pigmentos naturales, fenómenos de extracción líquido/sólido, pH y escala de pH, indicadores de pH sintéticos y naturales, y titulaciones ácido/base. En resumen, luego de realizar las experiencias anteriormente comentadas es posible enumerar las siguientes observaciones:

Para destacar: i) Los extractos naturales de col lombarda, berenjena (sin cáscaras) y remolacha azucarera pueden mezclarse en proporciones adecuadas (45/45/10 v/v, respectivamente, según lo estudiado en este trabajo) para obtener un indicador de pH susceptible de ser empleado tanto para fines de análisis cuali y cuantitativos. ii) Las tiras de pH preparadas tanto con la *Mezcla A* como con la *Mezcla B* resultaron ser adecuadas para determinar cualitativamente la presencia de medios ácidos o básicos. En ambos casos, se recomienda obtener las tiras reactivas sumergiendo el papel en las disoluciones correspondientes y dejar secar a temperatura ambiente. iii) El desempeño cuantitativo de la *Mezcla B* en titulaciones ácido/base con patrones estandarizados es comparable al de la fenolftaleína, no observándose diferencias estadísticamente significativas ($p > a = 0,05$) entre los resultados obtenidos por uno u otro indicador. En tal sentido, se propone la *Mezcla B* como una opción económica y medioambientalmente amigable, susceptible de ser empleada con fines educativos.

Para tener en cuenta: i) Se recomienda emplear la mezcla tan pronto como se obtiene, dado que su estabilidad es limitada. La evidencia experimental indica que su duración es al menos de una semana, conservada en forma refrigerada ($\approx 4^{\circ}\text{C}$, en una heladera convencional) y al abrigo de la luz. ii) Las titulaciones se realizaron con la solución de HCl patrón en el matraz Erlenmeyer y la de Na(OH) patrón en la bureta. Las gotas de indicador (ya sea fenolftaleína o *Mezcla B*) se agregaron a la solución de ácido. De esta forma se hace más evidente la aparición o cambio de color, minimizando el error experimental. iii) Para apreciar efectivamente el cambio de color, se aconseja el agregado de entre 5 y 10 gotas de la *Mezcla B* a la solución a titular. En este sentido, las gotas agregadas superan a las que comúnmente se emplean con fenolftaleína (3 ó 4 gotas). iv) Es posible que, en operadores no entrenados, el punto final de la titulación se sobreestime.

Conclusiones

Se preparó un indicador de pH natural a partir de mezclas de extractos acuosos de col lombarda, berenjena morada, fresa y remolacha azucarera. Se realizaron mediciones de pH y colorimétricas para caracterizarlas. Se eligió como alternativa económica y amigable con el medio ambiente la mezcla preparada con col lombarda (45% v/v), berenjena morada sin cáscara (45% v/v) y remolacha azucarera (10% v/v). La mezcla así obtenida se utilizó con fines cualitativos para preparar tiras indicadoras de pH; y con fines cuantitativos como indicador en reacciones de titulación. Los resultados mostraron un rendimiento óptimo, sin encontrar diferencias estadísticamente significativas ($p > a = 0,05$) comparada con fenolftaleína. Además de su simplicidad, la actividad propuesta en este trabajo puede considerarse no sólo como una excelente alternativa al uso de indicadores sintéticos sino también como una buena introducción a varios conceptos básicos del plan de estudios, como extracción acuosa, colorimetría, indicadores de pH, valoraciones ácido/base y análisis de datos & estadística.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional del Sur (UNS) y al Departamento de Ingeniería Química (DIQ) por el apoyo recibido (tanto económico como humano), reactivos, materiales y espacios de trabajo adecuados para llevar adelante las actividades descriptas. También se agradece la colaboración brindada por los encargados de laboratorios, Sra. GMI y Lic. MN.

Referencias

- Abugri, D., Ohene, B. y Pritchett, G. (2012) Investigation of a Simple and Cheap Source of a Natural Indicator for Acid-Base Titrations: Effects of System Conditions on Natural Indicators. *Green and Sustainable Chemistry* 2(3), pp. 117-122. <https://doi.org/10.4236/gsc.2012.23017>
- Badotti da Silva, D., de Mello Gonçalves, M., Kreve, Y., Nicolini, K. y Nicolini, J. (2018). Coleção de propostas utilizando produtos naturais para a introdução ao tema ácido-base no Ensino Médio (Parte II). Extração e armazenamento. *Educ. Quím.*, 29(2), pp. 3-16. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.1.63702>
- Casas Mateu, J., Castillo Daza, H., Noy Hilarión, J., Palomares Parada, A. y Rodríguez Valbuena, R. (2009). Elaboración de un papel indicador a base de extractos naturales: una alternativa fundamentada en experiencias de laboratorio para el aprendizaje del concepto de pH. *Rev. Eureka. Enseñ. Divul. Cien.*, 9(2), pp. 302-314. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2009.v6.i2.09
- Chigurupati, N., Saiki, L., Gayser, C. y Dash, A. (2002). Evaluation of red cabbage dye as a potential natural color for pharmaceutical use. *Int. J. Pharm.* 241(2), pp. 293-299. [https://doi.org/10.1016/S0378-5173\(02\)00246-6](https://doi.org/10.1016/S0378-5173(02)00246-6)
- de Cássia Martins, R., Bernardi, F., Kreve, Y., Nicolini, K. y Nicolini J. (2017). Coleção de propostas utilizando produtos naturais para a introdução ao tema ácido-base no Ensino Médio (Parte I). *Educ. Quím.*, 28, pp. 246-253. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eq.2017.03.005>

- Delgado-Vargas, F., Jiménez, A. y Paredes-López, O. (2000). Natural Pigments: Carotenoids, Anthocyanins, and Betalains — Characteristics, Biosynthesis, Processing, and Stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 40(3), pp. 173–289. <https://doi.org/10.1080/10408690091189257>
- Forster, M. (1978). Plant Pigments as Acid-Base Indicators—An Exercise for the Junior High School. *J. Chem. Educ.* 55(2), pp. 107-108. <https://doi.org/10.1021/ed055p107>
- Foster, L. y Gruntfest, J (1937). Demonstration of Experiments Using Universal Indicators. *J. Chem. Educ.* 14(6), pp. 274–276. <https://doi.org/10.1021/ed014p274>
- Gilchrist, A. y Nobbs, J. (2017). Colorimetry, Theory. In *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry*, 328–333. Lindon J., Tranter, G. y Koppenaal, D. Eds. Elsevier Ltd., 3rd Edition. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803224-4.00124-2>
- Konica Minolta Sensing (2007). Precise Color Communication. Color Control: From Perception to Instrumentation. https://www.konicaminolta.com/instruments/knowledge/color/pdf/color_communication.pdf
- Linder, J., Aljic, S., Shroof, H., Di Giusto, Z., Franklin, J., Keaney, S. y Kiefer, A. (2019) Exploring Acid-Base Chemistry by Making and Monitoring Red-Cabbage Sauerkraut: A Fresh Twist on the Classic Cabbage-Indicator Experiment. *J. Chem. Educ.* 96(2), pp. 304-307. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00767>
- Macuvele, D., Sithole, G., Cesca, K., Macuvele, S. y Matsinhe, J. (2016) Aqueous extracts of Mozambican plants as alternative and environmentally safe acid-base indicators. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23(12), pp. 11639–11644. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6284-2>
- Metheny, N., Gunn, E., Rubbelke, C., Quillen, T., Ezekiel, U. y Meert, K. (2017). Effect of pH Test-Strip Characteristics on Accuracy of Readings. *Crit. Care Nurse* 37(3), pp. 50–58. <https://doi.org/10.4037/ccn2017199>
- Morales Galicia, M., Martínez, J., Reyes-Sánchez, L., Hernández, O., Arroyo Razo, G., Obaya Valdivia, A. y Miranda Ruvalcaba R. (2011). ¿Qué tan verde es un experimento? *Educ. Quím.* 22(3), pp. 240–248. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30140-X](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30140-X)
- Moreno Palácio, S., Alves Olguin, C., da Cunha, M. (2012). Determinação de ácidos e bases por meio de extractos de flores. *Educ. Quím.* 10(1), pp. 41–44. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30096-4](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30096-4)
- Obaya Valdivia, A., García Barrera R. y Mena García, M. (1998). Indicadores de pH obtenidos de flores y de hortalizas. *Educ. Quím.*, 23(1), pp. 54–56. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.1999.1.66507>
- Rodríguez-Mena, A., Ochoa-Martínez, L., González-Herrera, S., Rutiaga-Quinones, O., González-Laredo, R. y Olmedilla-Alonso, B. (2023). Natural pigments of plant origin: Classification, extraction and application in foods. *Food Chem.* 398, 133908. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133908>

Vilches A. y Gil Pérez D. (2013). La ciencia de la sostenibilidad en la formación del profesorado de ciencias. *Rev. Eureka. Enseñ. Divul. Cien.*, (Núm. Extraordinario) 10, pp.749-762. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2013.v10.1extra.17<http://reuredc.uca.es>

Zhang, Q-W y Ye, W-C. (2018). Techniques for extraction and isolation of natural products: a comprehensive review. *Chin. Med.* 13:20. <https://doi.org/10.1186/s13020-018-0177-x>

Anexo

En el presente Anexo se propone un cronograma de actividades para llevar adelante en un curso de química analítica general, que puede ser tanto introductorio (para una escuela de enseñanza media) o universitario básico. Las clases que se describen son diarias, con una carga horaria comprendida entre 3 y 4 h. Se entiende que el grupo al cual se destinarán tiene conocimientos elementales de química, manejo de instrumental básico y experiencia de trabajo en el laboratorio.

Materiales necesarios – Aspectos de seguridad

Colorímetro. pHmetro. Soluciones patrón de Na(OH) y HCl 0,1 M. Soluciones concentradas de Na(OH) y HCl (previamente preparadas o a preparar en el laboratorio). Solución hidroalcohólica de fenolftaleína. Papel absorbente o secante. Col lombarda, fresas, remolacha azucarera y berenjena morada (cantidades necesarias para llevar adelante las actividades en función del grupo de alumnos). Instrumental básico de laboratorio (placas calefactoras, vasos de precipitados, matraces Erlenmeyers, buretas, soportes universales, pinzas para buretas, goteros o pipetas Pasteur, espátulas, varillas, vidrios de reloj, tubos de ensayo, embudos, papel de filtro, etc.). Medidas de seguridad adecuadas (campana extractora, guantes de nitrilo, bata o guardapolvo de laboratorio, gafas, ropa cómoda, calzado cerrado, cabello recogido, etc.).

Objetivos del Aprendizaje

Las actividades que se proponen tienen se fundamentan en que el aprendizaje basado en experiencias mejora las habilidades y la comprensión de los estudiantes. Los principales objetivos pedagógicos se relacionan con la interpretación de los datos experimentales y la propuesta de conclusiones respaldadas por el análisis de los datos obtenidos. Su principal ventaja es la simpleza, ya que los materiales son fáciles de obtener y los experimentos no requieren ni de equipos ni de instrumentación sofisticada. Se infiere que luego de realizar esta actividad los estudiantes serán capaces de:

- Comprender el uso de pigmentos naturales como indicadores de pH;
- Recopilar datos experimentales y analizar su significancia estadística;
- Establecer correlaciones entre los datos de laboratorio y la teoría; y
- Comprobar y contrastar hipótesis de experimentos.

Además, como resultados principales, se espera que los estudiantes sean capaces de:

- Obtener un indicador de pH natural, de buen desempeño y medioambientalmente amigable;
- Presentar un informe escrito de las actividades realizadas, donde se discutan los resultados obtenidos; y
- Adquirir habilidades experimentales, correlacionar teoría y práctica, y presentar conclusiones adecuadamente justificadas.

Principales consideraciones antes de llevar a cabo la actividad

Se recomienda llevar adelante las actividades con grupos de 3 ó 4 estudiantes. Como recomendaciones generales se pueden mencionar:

- La actividad puede realizarse en un presupuesto de tiempo de 4 a 6 clases. Se debe garantizar conocimientos previos sobre peligros químicos, análisis químicos elementales, manipulación de elementos y aparatos de laboratorio y eliminación de residuos.
- Se entiende que en clases anteriores los alumnos adquirieron los principios básicos relacionados con el análisis colorimétrico, escala de pH, pigmentos naturales, reacciones ácido/base, estadística y conceptos básicos de análisis de datos.

Cronograma tentativo de actividades

Primera clase

Los estudiantes obtienen los extractos de pigmentos naturales (alternativamente, se puede pedir que los alumnos realicen las extracciones en la casa y que lleven los extractos obtenidos). Se verifica el comportamiento de los extractos para diferentes valores de pH (ver Figuras A1 a A3 del Anexo). Mediante el agregado de gotas de ácido o base concentrados, se mide su pH y se observa el cambio de color que adquieren. Se recomienda evaluar todo el rango de valores de pH para obtener un panorama completo del desempeño. Se preparan las mezclas discutidas en el artículo y, si el tiempo lo permite, las tiras indicadoras con cada una de las mezclas. Se dejan secar hasta la clase siguiente.

Segunda clase

Si no se hizo en la clase anterior, se preparan las tiras reactivas con las mezclas de extractos previamente obtenidas. Mientras se espera que las tiras se sequen para ser utilizadas, se pide a los estudiantes que realicen titulaciones ácido/base empleando fenolftaleína como indicador. Se registran todos los valores obtenidos por la clase (se recomienda emplear soluciones patrón 0,1 M y volúmenes a titular de 5 mL).

Tercera clase

Se repiten las titulaciones de la clase anterior, pero ahora utilizando las mezclas de extractos preparadas. Se registran todos los valores obtenidos por la clase. Se evalúa el desempeño de las tiras reactivas previamente preparadas frente a soluciones de ácidos y bases débiles y fuertes y sales específicas, previamente consensuadas por la Cátedra. Se registran las observaciones y se pide a los estudiantes que comparan los resultados obtenidos con los previamente visualizados al analizar el comportamiento de los extractos en función de los valores de pH.

Cuarta clase

Los datos previamente recopilados se analizan y discuten con el curso. Se realiza el análisis estadístico de los resultados obtenidos en las titulaciones, y se establece si existen o no diferencias significativas entre los valores obtenidos empleando el indicador sintético y

la mezcla de extractos naturales. En esta clase o en clases adicionales se pueden discutir diversos aspectos relacionados con las actividades realizadas, como por ejemplo estructura química de extractos y pigmentos vegetales, métodos de extracción líquido/sólido, pH y escala de pH, reacciones de titulación e indicadores ácido/base sintéticos y naturales. Finalmente, se establecen las pautas generales para confeccionar el informe escrito de actividades según las recomendaciones y alcances definidos por la cátedra.

A continuación, se ilustran los colores obtenidos para cada uno de los extractos vegetales a diferentes valores de pH.



FIGURA A1. Extracto de fresas a diferentes valores de pH (de izquierda a derecha, pH = 1 a pH =13).



FIGURA A2. Extracto de berenjenas moradas sin cáscara a diferentes valores de pH (de izquierda a derecha, pH = 1 a pH =13).



FIGURA A3. Extracto de col lombarda a diferentes valores de pH (de izquierda a derecha, pH = 1 a pH =13).