



LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida

ISSN: 1390-3799

ISSN: 1390-8596

Universidad Politécnica Salesiana

Mora, Tatiana; Suárez, Martha; Brito, Carlos; Almachi, Dennys
Comportamiento solvatocrómico del colorante natural de mortiño (*Vaccinium floribundum Kunth*)

LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida, vol.
38, núm. 2, 2023, Septiembre-Febrero, pp. 09-16
Universidad Politécnica Salesiana

DOI: <https://doi.org/10.17163/lgr.n38.2023.01>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=476075697001>

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

UAEH  redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto



COMPORTAMIENTO SOLVATOCRÓMICO DEL COLORANTE NATURAL DE MORTIÑO (*Vaccinium floribundum* Kunth)

SOLVATOCHROMIC BEHAVIOR OF THE NATURAL COLORANT OF BLUEBERRY (*Vaccinium floribundum* Kunth)

Tatiana Mora*, Martha Suárez, Carlos Brito y Dennys Almachi

Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Central del Ecuador. Código Postal 170521, Quito, Ecuador.

*Autor para correspondencia: tsmora@uce.edu.ec

Manuscrito recibido el 23 de octubre de 2022. Aceptado, tras revisión, el 06 de junio de 2023. Publicado el 1 de septiembre de 2023.

Resumen

El efecto solvatocrómico es la modificación del espectro de absorción de un soluto al variar el solvente. El presente trabajo evaluó las características solvatocrómicas de Malvidina-3-glucósido clorhidrato. El método para obtener longitudes de onda máxima fue por barridos espectrales. En estándar primario CAS N° 7228-78.6, la variación fue determinada en mezclas binarias de etanol-agua: 40,55 y 70 %v/v. El efecto solvatocrómico al modificar el pH del solvente (agua) fue evaluado en colorante natural y estabilizado. Los resultados indican que los enlaces hidrógeno intermoleculares entre Malvidina-3-glucósido y las mezclas binarias de etanol-agua son responsables de los cambios solvatocrómicos: $565,2586 \pm 3.2784\text{nm}$, $472,5498 \pm 2.5128\text{nm}$ y $457,3589 \pm 6.2586\text{nm}$, producidos por las combinaciones analizadas. Al estabilizar antocianinas en una matriz quelante los cambios solvatocrómicos producidos al variar el pH del solvente agua, son no significativos en comparación con el colorante natural sin estabilizar.

Palabras clave: Malvidina-3-glucósido, metabolitos secundarios, colorante, productos naturales, solvatocromismo, antocianinas, pectina.

Abstract

The solvatochromic effect is the modification of the absorption spectrum of a solute by varying the solvent. This research evaluated the solvatochromic characteristics of Malvidin-3-glucoside hydrochloride. The method to obtain maximum wavelengths was by spectral scanning. In primary standard CAS No. 7228-78.6, the variation was determined in binary mixtures of ethanol-water: 40,55, and 70 %v/v. The solvatochromic effect when modifying the pH of the solvent (water) was evaluated in natural dye and stabilized. The results suggest that the intermolecular hydrogen connections between Malvidin-3-glucoside and the ethanol-water binary mixtures are responsible for the solvatochromic

changes: $565.2586 \pm 3.2784\text{nm}$, $472.5498 \pm 2.5128\text{nm}$ and $457.3589 \pm 6.2586\text{nm}$, produced by the analyzed combinations. When anthocyanins are stabilized in a chelating matrix, the solvatochromic changes produced by varying the pH of the water solvent are not significant compared to the unstabilized natural dye.

Keywords: malvidin-3-glucoside, secondary metabolites, dye, natural products, solvatochromism, anthocyanins, pectin.

Forma sugerida de citar: Mora, T., Suárez, M., Brito, C. y Almachi, D. (2023). Comportamiento solvatocrómico del colorante natural de mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth). *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*. Vol. 38(2):9-16. <http://doi.org/10.17163/lgr.n38.2023.01>.

IDs Orcid:

Tatiana Mora: <https://orcid.org/0000-0002-7442-6317>

Martha Suárez: <https://orcid.org/0000-0002-1573-7430>

Carlos Brito: <https://orcid.org/0000-0002-7371-5141>

Dennys Almachi: <https://orcid.org/0000-0002-6316-0314>

1 Introducción

Vaccinium floribundum Kunth es un fruto nativo de los eriales ecuatorianos (Torres y Pulgar, 2017). Durante la maduración esta baya soporta cambios de color (Xu y col., 2010): inicialmente verde cuando el fruto es inmaduro, rosado al alcanzar la madurez fisiológica y finalmente negro cuando llega a la madurez total (Arteaga, Andrade y Moreno, 2014). Cianidina, malvidina y delphinidina son antocianinas presentes en este tipo de frutos (Jin y col., 2020). Narváez y Suárez (2016), reportaron que por cada gramo de extracto seco de este fruto obtuvieron 3,92 mg de cianidina-3-o-glucosido (Rahman y col., 2021).

Las antocianinas de origen vegetal son colorantes naturales, (Yépez y Suaáñez, 2019) con propiedades protectoras para las plantas frente a: luz UV,

oxidantes y radicales libres (Enaru y col., 2021). Su utilidad en la industria cosmética, alimenticia y farmacéutica se ha incrementado por sus propiedades bioactivas (Buchweitz y col., 2013) dentro de las cuales se encuentran: efectos antidiabéticos, antitumorales, antiinflamatorios y anticancerígenos (Garzón, 2008). Además, son los ejecutores de la gama de colores que comprende del rojo al azul de varios frutos (Nguyen y col., 2018). Una de las razones de estas amplias tonalidades es la estructura del anillo B presente en la estructura de Malvidina 3-O-Glucósido (Sánchez, 2013)). Este anillo presenta variaciones en sus radicales (Tabla 1), en las cuales se pueden diferenciar mayor metoxilación con desplazamientos hacia coloraciones azules, por otro lado, menor número de metoxilaciones con tonalidades rojas (Rahman y col., 2021).

Tabla 1. Antocianinas presentes en la naturaleza. Modificado por Rahman y col. (2021).

Antocianidinas	Radical		$\lambda_{\text{máx}} [nm]$	Color
	R1	R2	Espectro visible	
Pelargonina	H	H	494	Naranja
Cianidina	OH	H	506	Naranja-rojo
Delfinidida	OH	OH	508	Azul-rojo
Peonidina	OCH ₃	H	506	Naranja-rojo
Peninidina	OCH ₃	OH	508	Azul-rojo
Malvidina	OCH ₃	OCH ₃	510	Azul-rojo

Para incrementar su solubilidad las antocianinas presentan reemplazos glicosídicos en los radicales 3 y/o 5 (Putra y col., 2023). Por ejemplo, en la naturaleza malvidina está presente en forma de Malvidina 3-glucosido (Ayala y col., 2018). Ver Figura 1.

Las acilaciones aromáticas pueden sustituir grupos glucosídicos, produciendo tonalidades púrpuras (Kader y col., 1998). Además, los pigmentos coloreados se encuentran en cuatro formas químicas diferentes que dependen del pH del medio (Castañeda-Ovando y col., 2009). Así, a $pH = 1 - 3$ se forma el catión flavilio, que es soluble en agua y además es responsable de los colores rojo y púrpura (Vasco y col., 2009). Cuando el pH aumenta entre 8 y 10, la especie azul quinoidal es abundante (Belmonte y col., 2016) mientras que a pH entre 12 y 14 aparece la pseudobase de carbinol y una chal-

cona, compuestos que son incoloros. Sin embargo, los cuatro compuestos son solubles en solventes polares y pueden coexistir en un amplio rango de pH (Enaru y col., 2021).

El solvatocromismo se usa comúnmente en muchos campos para estudiar la polaridad global y local en macrosistemas (Reichardt, 1994). Su estudio comprende fenómenos que involucran fuerzas intermoleculares y dinámicas acopladas al solvente (Marini y col., 2010).

Las antocianinas bajo condiciones experimentales presentan propiedades solvatocrómicas por el contacto con solventes que podrían producir hidroxilaciones, metoxilaciones, cambios en el pH o sustituciones aromáticas (Iosub, Meghea y Geana, 2014). Basándose en datos espectrales, Iosub, Meg-

hea y Geana (2014) establecieron correlaciones entre las propiedades solvatocrómicas con los parámetros de polaridad del solvente. El estudio determinó que los extractos de antocianinas resultan útiles en el estudio del efecto solvatocrómico en solventes de diferente polaridad.

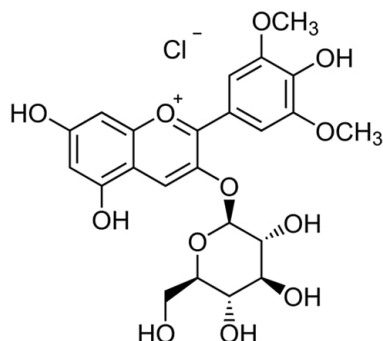


Figura 1. Estructura química de la Malvidina 3-O-Glucósido. Modificado por Pubchem (2022).

La importancia del estudio del comportamiento solvatocrómico, específicamente en colorantes naturales, con estructura similar a las antocianinas radica en la obtención del método de cuantificación (Klymchenko, 2017). Haciendo énfasis en los datos espectrales, “la ley de Beer explica los aspectos cuantitativos de las mediciones de absorción por la dependencia lineal de la concentración del soluto” (Linying y col., 2022, p. 1386). Las ecuaciones de Lorentz-Lorenz y Clausius-Mosotti son conocidas por la determinación de momentos dipolares, y el propósito “es predecir un fuerte acoplamiento entre los osciladores de soluto y solvente” (Mayerhöfer y Popp, 2020, p. 2). Al involucrar fuerzas intermoleculares con el solvente, es necesario establecer rangos de variación, específicamente con relación a la polaridad (Lee y col., 2013).

Según el Codex Alimentarius, (2021), durante el proceso de fabricación es indispensable que el colorante natural no se vea afectado por variaciones en la longitud de onda al estar en contacto con los ingredientes de la formulación (Loving, Sainlos e Imperiali, 2010). El efecto solvatocrómico de antocianinas en un producto farmacéutico, cosmético o alimenticio se ve reflejado como una degradación (Cai y col., 2020).

Con los antecedentes presentados, el estudio realizado evaluó el comportamiento solvatocrómi-

co de estándar primario de Malvidina -3- glucósido clorhidrato CAS N° 7228-78.6, producido por el acoplamiento soluto-solvente, al variar la fracción molar del solvente. Este análisis determinó la longitud de onda máxima para cada fracción molar de solvente. El comportamiento solvatocrómico también fue evaluado por la diversificación de la longitud de onda máxima de Malvidina -3- glucósido en colorante natural y estabilizado, al modificar el pH del solvente (agua) a 4 y 6, con HCl y NaOH respectivamente. El análisis evaluó si los comportamientos solvatocrómicos en estos pigmentos son estadísticamente significativos, al variar el pH del solvente.

2 Materiales y Métodos

2.1 Estudio solvatocrómico: estándar primario

El comportamiento solvatocrómico fue evaluado en estándar primario de Malvidina -3- glucósido clorhidrato CAS N° 7228-78.6, con variación en la proporción del solvente (etanol-agua: 40,55, y 70 % v/v. Durante la determinación experimental de los barridos espectrales con estándar primario el pH se mantuvo en el valor de 2, con la adición de una solución de HCl 1M para preservar la estructura del ion flavilio, lo que concuerda con la bibliografía (Iosub, Meghea y Geana, 2014).

El cambio de longitud de onda máxima de Malvidina 3-O-Glucósido, fue analizado por duplicado durante tres días en un espectrofotómetro VARIAN 50Bio. La variación de los datos fue analizada por desviación estándar a cada concentración de solvente.

2.2 Estudio solvatocrómico: colorante natural

2.2.1 Extracción

El método de extracción fue una modificación de la investigación (Almachi, 2018). La obtención de colorante natural de *Vaccinium floribundum* Kunth inició con el desengrasado del fruto de mortiño previamente seco y molido, mediante Soxhlet con n-hexano durante 8 horas, seguido de maceración en capuchones de papel filtro con etanol al 96% durante 24 horas. Se percolaron individualmente cada capuchón a una velocidad de 20 gotas por minuto

hasta que fuese negativa la prueba de compuestos fenólicos con cloruro férrico 5%. Cada extracto etanólico fue concentrado en el equipo RapidVap: Calor de evaporación 205 Kcal/Kg, Velocidad 45% y Vacío 175 Mbar. Los extractos secos se almacenaron dentro de un desecador protegidos de la luz.

2.2.2 Estabilización

El colorante natural proveniente de extracto seco de *Vaccinium floribundum* Kunth fue estabilizado en una matriz de pectina comercial (Ceampectin RS 4710), por el método de absorción con las siguientes condiciones: concentración de etanol 60% v/v, concentración de extracto 5% p/v y tiempo de contacto 25 horas.

2.2.3 Solvatocromismo

El comportamiento solvatocrómico fue evaluado por la variación de la longitud de onda máxima de Malvidina -3- glucósido en colorante natural y estabilizado, al modificar el pH del solvente (agua) a 4 y 6, con HCl y NaOH, respectivamente. El estudio se basó en un análisis de covarianza múltiple ANCOVA de dos factores, cada uno con 2 niveles sobre 1 variable respuesta, es decir, $K=2$ y $n=1$. Para esto se desarrollaron 4 corridas experimentales, con una réplica completa del diseño para determinar la reproducibilidad del modelo, dando un total de 8 corridas experimentales.

3 Resultados y Discusión

3.1 Evaluación del comportamiento solvatocrómico de Malvidina -3- glucósido clorhidrato

En la Tabla 2 se observan los máximos de absorción de Malvidina con su respectiva desviación estándar, evidenciando un efecto solvatocrómico a diferentes concentraciones de solvente.

Tabla 2. Resultados obtenidos por solvatocromismo de Malvidina.

Concentración de etanol	40 %	55 %	70 %
Longitud de onda [nm]	565,2586 ± 3,2784	472,5498 ± 2,5128	457,3589 ± 6,2586

El efecto del solvente producido por estos sistemas ternarios (agua: etanol: antocianina) está determinado por los parámetros de polaridad de la proporción etanol: agua. El solvatocromismo fue evaluado por la capacidad del solvente para producir cambios dipolares en la molécula de malvidina causados por el cambio de la fracción molar del solvente. Mayerhöfer y Popp (2020) describen que los cambios polares producidos por el solvente presentan modificaciones espectrales de las bandas de absorción. Las variaciones polares producidas por el solvente se evidencian con las alteraciones de la longitud de onda máxima de la Tabla 2. Por lo tanto, al desarrollar un método de cuantificación con moléculas que presenten una estructura similar a Malvidina-3-glucósido clorhidrato, es recomendable mantener la fracción molar del solvente, para de esta manera evitar comportamientos solvatocrómicos del analito.

3.2 Evaluación del comportamiento solvatocrómico del colorante natural de *Vaccinium floribundum* Kunth

3.2.1 Extracción

El proceso de estandarización de extracto seco de mortiño partió de una muestra seca y molida del fruto con las siguientes especificaciones: tamaño de partícula 595 μm , humedad $3,05 \pm 0,05\%$ y contenido de grasa total de $2,5 \pm 0,2\%$. El método de extracción de colorante natural y su estabilización en pectina descritos en materiales y métodos, permitió obtener un rendimiento como extracto seco del $53,1 \pm 4,4\%$ y de colorante estabilizado del $91,8 \pm 4,6\%$.

Tabla 3. ANCOVA de dos factores.

pH (X_2)	Tipo colorante(X_1)	
	Longitud de Onda [nm]	Longitud de Onda [nm]
	Colorante estabilizado	Colorante natural
4	511,5092 $\pm$ 1,4934	517,0453 $\pm$ 4,3861
6	511,9522 $\pm$ 1,2678	512,5500 $\pm$ 1,3859

La Tabla 3 presenta longitudes de onda máximas de malvidina en: colorante natural y estabilizado en pectina cuando existe una variación de pH en agua. El análisis ANCOVA determinó que el pH del colorante natural es significativo (Valor-p < 0,05), con un intervalo de confianza del 95%. El pigmento al

estar expuesto a una variación de pH de 4 y 6 presenta cambios en la longitud de onda máxima. Estos desplazamientos son producidos por Malvidina -3- glucósido presente en el extracto seco.

En un ambiente entre 2 y 4 deja la forma de antocianina para estar presente como la especie quinoi- dal, mientras que a pH 6 se encuentra como chalcona (Enaru y col., 2021). Al comparar las longitu-

des de onda máxima del colorante natural con estabilizado, el análisis ANCOVA de dos factores determinó que existe diferencia significativa (Valor- $p < 0,05$) con un intervalo de confianza del 95%, lo cual se puede observar en la Figura 2. La unión de Malvidina -3- glucósido con pectina por puentes de hidrógeno con el oxígeno del grupo metoxilo de la antocianina presenta un cambio reflejado en las longitudes de onda máxima (Koh, Xu y Wicker, 2020).

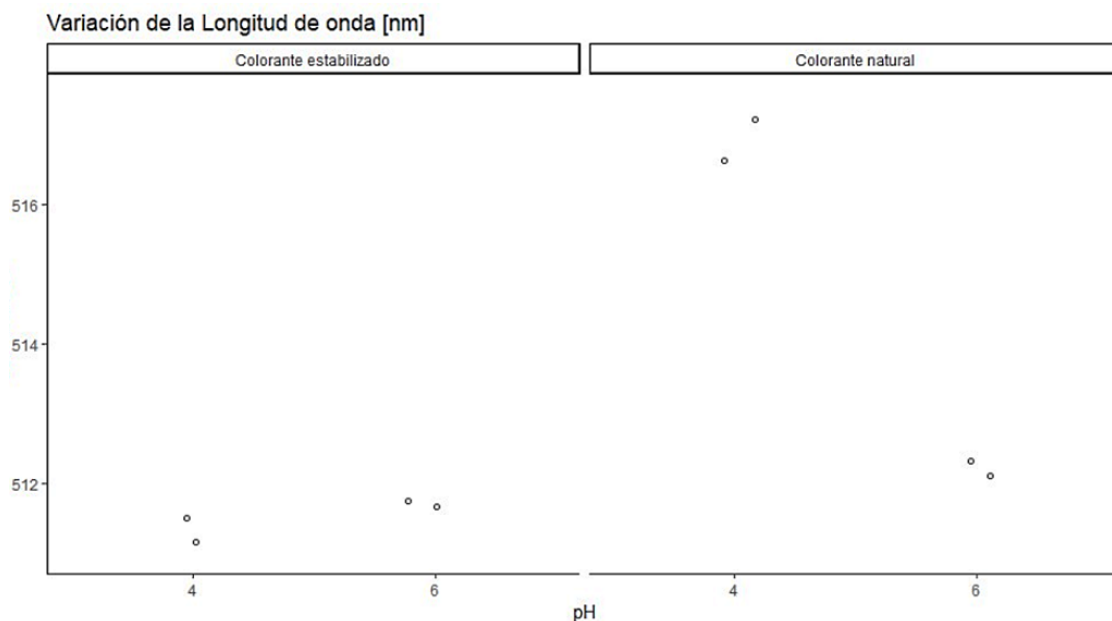


Figura 2. Variación de longitud de Onda Máxima en colorante natural y colorante estabilizado.

Los colorantes naturales al ser utilizados para fines farmacéuticos, cosméticos o en alimentos deben ser estables frente a cambios de pH durante los procesos de fabricación. El estudio determinó que no existe diferencia significativa (Valor- $p > 0,05$), al variar el pH del solvente cuando el colorante natural se encuentra estabilizado. La matriz estabilizante pectina impide que Malvidina -3- glucósido interaccione con los iones OH^- , H^+ del solvente, impidiendo desplazamientos solvatocrómicos.

Los análisis se realizaron a pH específicos de 4 y 6. Sin embargo, un estudio en alimentos determinó que los alimentos industrializados tienen valores de pH ligeramente más ácidos que los alimentos naturales. Este hecho probablemente está relaciona-

do con los métodos de conservación utilizados y la adición de vitaminas. Los cereales registraron valores de pH que oscilaron entre 7.95 y 5.4 (Casaubon y col., 2018, p. 91). Por lo tanto, es necesario determinar cambios solvatocrómicos en un mayor rango de pH.

4 Conclusiones

La presente investigación evaluó el cambio de polaridad de malvidina -3- glucósido clorhidrato al usar etanol como solvente en tres proporciones distintas. El estudio determinó que existen desplazamientos solvatocrómicos evidenciados por la variación de las longitudes de onda máximas. Los resultados

indican que los enlaces de hidrógeno intermoleculares entre el soluto y el solvente son responsables de los cambios solvatocrómicos en las mezclas binarias analizadas. El estudio en estándar primario no se basó en determinar significancia en los cambios solvatocrómicos. El análisis fue la evaluación de la reproducibilidad de cada longitud de onda en diferentes días.

El extracto seco al estar expuesto a una variación de pH de 4 y 6, presenta cambios en la longitud de onda máxima. Estos desplazamientos son producidos por Malvidina -3- glucósido presente en el pigmento. El análisis ANCOVA determinó que la variación de pH en el colorante natural produce variaciones significativas ($Valor - p < 0,05$), con un intervalo de confianza del 95%.

La estabilización del pigmento en una matriz natural determinó que no existe diferencia significativa ($Valor - p > 0,05$), al variar el pH del solvente. Los desplazamientos solvatocromicos que se producen por la presencia de iones hidrogeno e hidroxilo a pH 4 y 6 fueron eliminados por la unión polisacárido-polifenol.

Agradecimientos

Los más sinceros agradecimientos al Quim. Carlos Brito por su gran aporte en la estadística de esta investigación, a la Doctora Martha Suárez Heredia, simplemente porque sin su aporte no sería posible esta investigación, a la Agencia Española de Cooperación para el desarrollo (AECID). Finalmente, al Ministerio del Ambiente.

Referencias

- Almachi D. Suarez, M. (2018). «Estudio de la influencia de colorantes naturales sobre el color y las propiedades reológicas de una formulación alimenticia». Tesis de maestría. Universidad Central del Ecuador.
- Arteaga, M., M. Andrade y C. Moreno (2014). «Relación del desarrollo del color con el contenido de antocianinas y clorofila en diferentes grados de madurez de mortiño (*Vaccinium floribundum*)». En: *Enfoque UTE* 5.2, 14-28. Online: <https://n9.cl/4tu14>.
- Ayala, K. y col. (2018). «Toxicidad de los colorantes sintéticos: de lo global al Ecuador». En: *Revista Biorrefinería* 1.1, 40-48. Online: <https://n9.cl/kpepv>.
- Belmonte, J. y col. (2016). «Colorantes artificiales en alimentos». En: *Revista Naturaleza Y Tecnología Universidad de Guanajuato* 10.8, 24-38. Online: <https://n9.cl/8z4rr>.
- Buchweitz, M. y col. (2013). «Impact of pectin type on the storage stability of black currant (*Ribes nigrum* L.) anthocyanins in pectic model solutions». En: *Food chemistry* 139.1-4, 1168-1178. Online: <https://n9.cl/z7256>.
- Cai, L. y col. (2020). «A solvatochromic AIE tetrahydro [5] helicene derivative as fluorescent probes for water in organic solvents and highly sensitive sensors for glyceryl monostearate». En: *Talanta* 206, 0039-9140. Online: <https://n9.cl/z7256>.
- Casaubon, P. y col. (2018). «pH de los alimentos: ¿una herramienta para el manejo de los pacientes con reflujo gastroesofágico?». En: *Revista Mexicana de Pediatría* 85.3, 89-94. Online: <https://n9.cl/nkyvf>.
- Castañeda-Ovando A. Pacheco-Hernández, M. y col. (2009). «Chemical studies of anthocyanins: A review». En: *Food chemistry* 113.4, 859-871. Online: <https://n9.cl/8nvxi>.
- Enaru, B. y col. (2021). «Anthocyanins: Factors affecting their stability and degradation». En: *Antioxidants* 10.12, 1967. Online: <https://n9.cl/wtuvw>.
- Garzón, G. (2008). «Anthocyanins as natural colorants and bioactive compounds: A review». En: *Acta Biológica Colombiana* 13.3, 27-36. Online: <https://n9.cl/e31th>.
- Iosub, S., A. Meghea e I. Geana (2014). «Solvatochromic parameters of some anthocyanin derivatives concentrated from selective natural extracts». En: *UPB Scientific Bulletin, Series B: Chemistry and Materials Science* 76.1, 25-34. Online: <https://n9.cl/q9lcm>.
- Jin, W. y col. (2020). «Study on the coupling progress of thermo-induced anthocyanins degradation and polysaccharides gelation». En: *Food Hydrocolloids* 105, 105822. Online: <https://n9.cl/t4p9w>.
- Kader, F. y col. (1998). «Degradation of cyanidin 3-glucoside by blueberry polyphenol oxidase: kinetic studies and mechanisms». En: *Journal of agricultural and food chemistry* 46.8, 3060-3065.

- Online: <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/1371074>.
- Klymchenko, A. (2017). «Solvatochromic and fluorogenic dyes as environment-sensitive probes: design and biological applications». En: *Accounts of chemical research* 50.2, 366-375. Online: <https://n9.cl/dqp7t>.
- Koh, J., Z. Xu y L. Wicker (2020). «Binding kinetics of blueberry pectin-anthocyanins and stabilization by non-covalent interactions». En: *Food Hydrocolloids* 99, 105354. Online: <https://n9.cl/gybb5>.
- Lee, J. y col. (2013). «A protective layer approach to solvatochromic sensors». En: *Nature Communications* 4.1, 2461. Online: <https://n9.cl/oa2lc>.
- Linying, L. y col. (2022). «Study on the origin of linear deviation with the Beer-Lambert law in absorption spectroscopy by measuring sulfur dioxide». En: *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 275, 121192. Online: <https://n9.cl/2qg80>.
- Loving, G., M. Sainlos y B. Imperiali (2010). «Monitoring protein interactions and dynamics with solvatochromic fluorophores». En: *Trends in biotechnology* 28.2, 73-83. Online: <https://n9.cl/rri2t>.
- Marini, A. y col. (2010). «What is solvatochromism?» En: *The Journal of Physical Chemistry B* 114.51, 17128-17135. Online: <https://n9.cl/lvkye>.
- Mayerhöfer, T. y J. Popp (2020). «Beyond Beer's Law: Revisiting the Lorentz-Lorenz Equation». En: *ChemPhysChem* 21.12, 1218-1223. Online: <https://n9.cl/h4cw5>.
- Narváez, G y M Suárez (2016). «Estabilización de las antocianinas presentes en el fruto de mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth) mediante el método de copigmentación intermolecular para la obtención de pigmentos antociánicos con potencial aplicación en la industria farmacéutica y cosmé». Tesis de mtría. Universidad Central del Ecuador.
- Nguyen, T. y col. (2018). «Encapsulation of Hibiscus sabdariffa L. anthocyanins as natural colours in yeast». En: *Food research international* 107, 275-280. Online: <https://n9.cl/g8yca>.
- Pubchem (2022). *Malvidin 3-Glucoside*.
- Putra, N. y col. (2023). «Optimization and solubilization of interest compounds from roselle in subcritical ethanol extraction (SEE)». En: *Alexandria Engineering Journal* 65, 59-74. Online: <https://n9.cl/g1igc>.
- Rahman, S. y col. (2021). «Health benefits of cyanidin-3-glucoside as a potent modulator of Nrf2-mediated oxidative stress». En: *Inflammopharmacology* 29, 907-923. Online: <https://n9.cl/6bhp6>.
- Reichardt, C. (1994). «Solvatochromic dyes as solvent polarity indicators». En: *Chemical reviews* 94.8, 2319-2358. Online: <https://n9.cl/vcpl6>.
- Sánchez, J. (2013). «La química del color en los alimentos». En: *Química Viva* 12.3, 234-246. Online: <https://n9.cl/jbcd2>.
- Torres, F. y N. Pulgar (2017). «Evaluación de la estabilidad del pigmento natural obtenido a partir de mortiño (*Vaccinium myrtillus* L) como colorante para la industria de alimentos». En: *SATHIRI* 12.1, 171-186. Online: <https://n9.cl/9fim7>.
- Vasco, C. y col. (2009). «Chemical composition and phenolic compound profile of mortiño (*Vaccinium floribundum* Kunth)». En: *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57.18, 8274-8281. Online: <https://n9.cl/es/s/nrbxl>.
- Xu, M. y col. (2010). «Cyanidin-3-glucoside inhibits ethanol-induced invasion of breast cancer cells overexpressing ErbB2». En: *Molecular cancer* 9.1, 1-14. Online: <https://n9.cl/byd7l>.
- Yépez, M. y Suaáñez (2019). «Adición de antocianinas extraídas del fruto de *Vaccinium floribundum* Kunth y antocianinas estabilizadas en nanopartículas de zeína en yogur natural, como alternativa a los colorantes de síntesis». Tesis de mtría. Universidad Centra del Ecuador.