

ORIGINAL ARTICLE

Cinética da degradação térmica de antocianinas de alaybilí (*Vaccinium floribundum* Kunth) e macha-macha (*Gaultheria glomerata* (Cav.) Sleumer)

Kinetic of thermal degradation of alaybilí (Vaccinium floribundum Kunth) and macha-macha (Gaultheria glomerata (Cav.) Sleumer) anthocyanins

Erick Huaranca-Huarcaya¹, Luis Ricardo Paredes-Quiroz¹, Nivia Marisol Pílares-Estrada², Melquiades Barragán-Condori³, Víctor Justiniano Huamaní-Meléndez^{4*} 

¹Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Departamento Académico de Ingeniería, Abancay/Apurímac - Peru

²Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba (UNIQ), Departamento Académico de Ecoturismo e Humanidades, Quillabamba/Cusco - Peru

³Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba (UNIQ), Departamento de Ciências Básicas, Quillabamba/Cusco - Peru

⁴Universidade Estadual Paulista (UNESP), Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, São José do Rio Preto/SP - Brasil

*Corresponding Author: Víctor Justiniano Huamaní-Meléndez, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, R. Cristóvão Colombo, 2265, Jardim Nazareth, CEP: 15054-000, São José do Rio Preto - SP/Brasil, e-mail: victor.melendez@unesp.br

Cite as: Huaranca-Huarcaya, E., Paredes-Quiroz, L. R., Pílares-Estrada, N. M., Barragán-Condori, M., Huamaní-Meléndez, V. J. (2022). Kinetic of thermal degradation of alaybilí (*Vaccinium floribundum* Kunth) and macha-macha (*Gaultheria glomerata* (Cav.) Sleumer) anthocyanins. *Brazilian Journal of Food Technology*, 25, e2021106. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.10621>

Resumo

As frutas são fontes naturais de antioxidantes, em especial antocianinas; no entanto, de acordo com a literatura, esses compostos têm sensibilidade a certos fatores ambientais, encontrando-se relatos na literatura científica de que a temperatura tem influência na degradação das antocianinas. Nesse sentido, duas frutas nativas da região de Apurímac, Peru, conhecidas como alaybilí (*Vaccinium floribundum* Kunth) e macha-macha (*Gaultheria glomerata* (Cav.) Sleumer) foram estudadas como fontes de antocianinas e a cinética de degradação foi investigada. Extratos antocianínicos com concentrações de 148 e 224 mg L⁻¹ (mg cianidina 3-glucosídeo/L), a partir de frutos de alaybilí e macha-macha, respectivamente, foram obtidos por extração etanólica e, posteriormente, foi avaliada a cinética de degradação nas temperaturas de 30 °C a 60 °C. Constatou-se que os extratos de macha-macha apresentaram maior degradação em relação aos extratos de alaybilí. Foi confirmado que a cinética de primeira ordem representa melhor a degradação das antocianinas, com constantes de velocidade variando de 7,07·10⁻⁴ a 5,96·10⁻³ h⁻¹ para alaybilí e de 1,62·10⁻³ a 1,71·10⁻² h⁻¹ para macha-macha, com energias de ativação de 60,2 e 70,4 kJ mol⁻¹, respectivamente. Ambos os frutos são fontes de antocianinas, sendo que as antocianinas presentes no fruto de alaybilí apresentam maior estabilidade à temperatura.

Palavras-chave: Cinética de primeira ordem;; Antioxidantes; Compostos bioativos; Extração etanólica.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

Abstract

Fruits are natural sources of antioxidants, especially anthocyanins. However, these compounds are sensitive to certain environmental or processing factors such as temperature, and there are reports in the scientific literature pointing out that temperature has an influence on the degradation of anthocyanins. In this sense, two native fruits from the Apurímac-Peru, known as alaybilí (*Vaccinium floribundum* Kunth) and macha-macha (*Gaultheria glomerata* (Cav.) Sleumer) were studied as sources of anthocyanins and their degradation by the action of temperature. Anthocyanin extracts with concentrations of 148 and 224 mg L⁻¹ (mg cyanidin 3-glucoside/L) from alaybilí and macha-macha fruits, respectively, were obtained by ethanol extraction and the degradation kinetic was evaluated at temperatures from 30 °C to 60 °C, thus noting that the macha-macha extracts showed greater degradation compared to the alaybilí extracts. It was confirmed that the degradation of anthocyanins was best represented by first-order kinetics, with rate constant ranging from 7.07·10⁻⁴ to 5.96·10⁻³ h⁻¹ for alaybilí and from 1.62·10⁻³ to 1.71·10⁻² h⁻¹ for macha-macha, with activation energies of 60.2 and 70.4 kJ mol⁻¹, respectively. Both fruits turned out to be sources of anthocyanins, and the anthocyanins presented in the alaybilí fruit had greater stability at temperature

Keywords: First order kinetics; Antioxidants; Bioactive compounds; Ethanol extraction.

Highlights

- Alaybilí and macha-macha fruits present anthocyanin concentrations of 148 and 224 mg /L (mg cyanidin 3-glucoside/L) respectively.
- The anthocyanin extracts show thermal degradation, represented by first-order kinetics.
- The anthocyanins from the alaybili fruit have greater stability at temperature, compared to the anthocyanins from the macha-macha fruit.

1 Introdução

A maioria das frutas é considerada fonte natural de antioxidantes, sendo principalmente polifenóis (ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas, lignanas e estilbenos), carotenoides (xantofilas e carotenos) e vitaminas (vitaminas E e C) (Baiano & Del Nobile, 2016; Manach et al., 2004). Os antioxidantes ajudam a reduzir a incidência de doenças degenerativas (Rufino et al., 2010), como arteriosclerose, artrite, disfunção cerebral, câncer, doenças cardíacas e inflamatórias (del Río-Celestino & Font, 2020; Ellong et al., 2015; Feskanich et al., 2000; Pereira-Netto, 2018). Diversas investigações têm confirmado que a ingestão de frutas e vegetais ricos em antioxidantes é benéfica à saúde, principalmente na redução de doenças cardiovasculares (de Pascual-Teresa, 2014; Neha et al., 2019; Wrolstad, 2004).

Extratos ricos em antocianina podem melhorar a acuidade visual, possuem atividade antioxidante, capacidade para reter radicais livres, além de atuarem como agentes quimioprotetores (Ghosh & Konishi, 2007; Putta et al., 2018; Salehi et al., 2020). Eles inibem a oxidação dos alimentos, eliminando radicais livres, quelando íons metálicos pró-oxidantes (Ali et al., 2020). A esses compostos fenólicos, tem sido atribuído certo efeito protetor na prevenção de processos degenerativos de câncer, doenças cardiovasculares e cerebrovasculares, uma vez que esses antioxidantes têm a capacidade de neutralizar os radicais livres, permitindo que as células não sofram oxidação ou permaneçam em equilíbrio para que os processos de oxidação-redução aconteçam naturalmente dentro do corpo (Gordon, 1996; He & Giusti, 2010; Jing & Giusti, 2011; Warner et al., 2018). Existem estudos sobre frutas e algas com perfis fitoquímicos capazes de reduzir a glicose sanguínea aos níveis normais, ou seja, com propriedades antidiabéticas devido ao seu conteúdo de compostos fenólicos (Jimenez-Lopez et al., 2021; Sun et al., 2020).

A concentração de compostos fenólicos na fruta pode determinar sua importância agroindustrial, como fonte de antioxidantes, uma vez que existe uma grande variedade de frutas localizadas em zonas ecológicas específicas, que podem ser encontradas em toda a Cordilheira dos Andes, dentre elas alaybilí (*Vaccinium floribundum* Kunth) e macha-macha (*Gaultheria glomerata* (Cav.) Sleumer), ambas nativas da região de Apurímac, Peru, como potencial fonte de compostos fenólicos.

Os frutos da espécie *Vaccinium floribundum* Kunth, conhecida como alaybilí, mortiño ou mirtilo andino, aparecem como frutos pretos, quase redondos e com aproximadamente 1 cm de diâmetro (Coba Santamaría et al., 2012; Luteyn, 2002; National Research Council, 1989). Possuem compostos fenólicos em sua composição, sendo principalmente antocianinas (203 ± 47 mg/100 g, determinada como cianidina 3-glicosídeo) (Vasco et al., 2009), similar a outros do gênero *Vaccinium* (López-Vidaña et al., 2017).

Também, nativos desta região, os frutos da espécie *Gaultheria glomerata* (Cav.) Sleumer se apresentam em agrupamentos de frutos esféricos de 0,5 cm de diâmetro, de coloração entre vermelho escuro e roxo (Middleton, 1991) e têm em sua composição antocianinas, sendo os derivados glicosilados da delphinidina e da cianidina, os mais abundantes (Oyarzún et al., 2020).

As antocianinas têm maior potencial antioxidante do que as vitaminas C e E, incluindo antioxidantes sintéticos, como BHA (butil hidroxianisol) e BHT (butil hidroxitolueno) (He & Giusti, 2010; Martín et al., 2017). No entanto, seu uso industrial em produtos alimentícios, farmacêuticos ou cosméticos é limitado, devido à sua baixa estabilidade durante o processamento e o armazenamento, sendo sensível a diversos fatores, principalmente à temperatura (Cevallos-Casals & Cisneros-Zevallos, 2004; Giusti & Wrolstad, 2003; Machado et al., 2015; Su & Chien, 2007).

Avaliando o efeito do tratamento térmico, Silva, Crispim e Vieira (2017) encontraram forte dependência da temperatura na degradação de antocianinas em polpa de acerola, verificando-se uma energia de ativação de 68 kJ mol^{-1} .

Portanto, a presente pesquisa visa determinar a concentração de antocianinas nos frutos de alaybilí (*Vaccinium floribundum* Kunth) e macha-macha (*Gaultheria glomerata* (Cav.) Sleumer) como fonte de antioxidantes e conhecer a cinética de degradação térmica dos extratos antociânicos para seu posterior uso como aditivo alimentar, especialmente como corante natural.

2 Materiais e Métodos

2.1 Matéria-prima

Os frutos de alaybilí (*Vaccinium floribundum* Kunth) e macha-macha (*Gaultheria glomerata* (Cav.) Sleumer) foram coletados no distrito de Pacobamba (Andahuaylas-Apurímac, Peru), entre os meses de fevereiro a abril de 2018, observando sua plena maturação (coloração intensa e tamanho máximo). As amostras foram armazenadas a $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por 4 meses, até sua avaliação.

2.2 Extração do composto antociânico

O extrato rico em compostos antociânicos foi obtido com etanol acidificado, de acordo com o método descrito por Rodriguez-Saona & Wrolstad (2001), com algumas modificações. Foi utilizado como solvente etanol acidificado com ácido cítrico 1% na relação matéria prima/solvente 1:3 m/m (Miyagusuku-Cruzado et al., 2021). O processo foi conduzido em temperatura ambiente e tempo de extração de 2 h, filtrando e concentrando o extrato em evaporador rotativo sob pressão reduzida.

Uma vez obtidos os extratos de frutos de alaybilí e macha-macha, foram colocados em frascos de 2 mL para cada tratamento em triplicata.

2.3 Determinação de antocianinas totais

A concentração de antocianina monomérica foi determinada pelo método pH diferencial descrito por Giusti e Wrolstad (2001). Uma alíquota do extrato de antocianina foi misturada com uma solução tampão de pH 1,0 de cloreto de potássio 0,025 M e outra, com um tampão de pH 4,5 de acetato de sódio 0,4 M (Mathew & Negi, 2021). A diferença na absorbância no comprimento de onda de máxima absorção (520 nm) é proporcional ao conteúdo de antocianinas. Seguidamente, com o objetivo de corrigir a medida, devido à presença de compostos degradados ou substâncias interferentes como hemiacetal e chalcona, a absorbância foi medida em 700 nm.

As medições foram feitas em um espectrofotômetro Genesys 10S (UV-VIS Spectronic, EUA) usando água ultrapurificada como branco.

A concentração de antocianina foi expressa como mg cianidina 3-glucosídeo/L, usando a Equação 1.

$$CAT = \frac{A \times PM \times FD \times 100}{\epsilon \times l} \quad (1)$$

Em que:

CAT: conteúdo de antocianinas totais (mg L⁻¹);

A: mudança na absorbância determinada pela expressão: $A = (A_{510} - A_{700})_{pH1,0} - (A_{510} - A_{700})_{pH4,5}$;

PM: peso molecular para cianidina 3-glucosídeo (449,2 g mol⁻¹);

FD: fator de diluição;

ϵ : coeficiente de extinção molar para cianidina 3-glucosídeo (26900 L mol⁻¹ cm⁻¹) e

l: caminho óptico da célula (1 cm).

2.4 Modelo cinético de degradação de antocianina por calor

Os frascos codificados foram submetidos a tratamentos térmicos de 30, 40, 50 e 60 °C, em incubadora da marca Memmert. As amostras foram extraídas (em triplicata) em intervalos de 24, 12, 8 e 4 h para as temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C, respectivamente, para serem determinados os teores de antocianinas. Foram considerados tempos totais de tratamento como sendo 240, 120, 80 e 40 horas para as temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C, respectivamente, sendo os tempos estabelecidos mediante experimentos prévios, considerando redução de antocianinas superior a 15%. O modelo cinético de primeira ordem (Equação 2) tem sido amplamente relatado para descrever a degradação térmica de antocianinas (Fan et al., 2019; Garzón & Wrolstad, 2002; Verbeyst et al., 2011; Yang et al., 2008).

$$\ln[A] = \ln[A_0] - kt \quad (2)$$

Em que:

A₀: concentração inicial de antocianina;

A: concentração de antocianina no tempo *t* (h) e

k: constante de velocidade (h⁻¹).

A meia-vida, *t*_{1/2}, é o tempo necessário para que a concentração dos compostos desejáveis diminua para a metade de seu valor inicial, usando a cinética de primeira ordem. Este valor é expresso pela Equação 3.

$$t_{1/2} = \frac{-\ln(0,5)}{k} \quad (3)$$

A dependência da constante de taxa de degradação em relação à temperatura é representada pela equação de Arrhenius (Equação 4):

$$k = k_0 \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (4)$$

Em que:

E_a : energia de ativação (J mol^{-1});

R : constante universal dos gases ($8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$);

T : temperatura absoluta (K) e

k_0 : fator de frequência (h^{-1}).

3 Resultados e Discussões

3.1 Cinética de degradação de extratos antocianínicos

Os extratos de alaybilí e macha-macha apresentaram teor de antocianina de $147,99 \pm 1,22$ e $224,14 \pm 4,13 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente (expresso como cianidina 3-glicosídeo). Como a maioria dos antioxidantes de origem natural, as antocianinas presentes nos extratos de alaybilí e macha-macha foram se degradando com o passar do tempo, conforme apresentado na Figura 1, sendo que essa degradação ocorre com maior velocidade em temperaturas mais elevadas; portanto, a temperatura é um fator importante na degradação das antocianinas, conforme observado por Garzón & Wrolstad (2002). A aplicação de calor nas antocianinas resulta na abertura do anel heterocíclico da sua molécula, formando então chalconas, que, devido à sua termolabilidade, se degradam instantaneamente em um ácido fenólico e um aldeído (Oliveira et al., 2020).

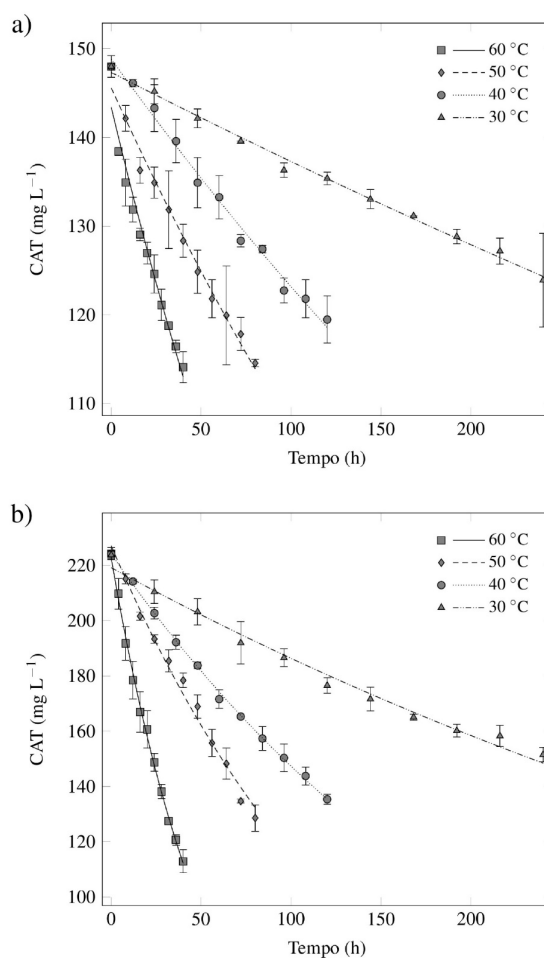


Figura 1. Teor total de antocianinas em função do tempo (os dados experimentais são representados por símbolos e as linhas representam os dados calculados pelo modelo cinético de primeira ordem) para frutos de: (a) alaybilí e (b) macha-macha.

Os extratos antociânicos de alaybilí apresentaram menor degradação em relação aos extratos antociânicos de macha-macha, para os mesmos tempos e temperaturas, o que é confirmado pelos valores das constantes de velocidade, apresentados na Tabela 1. Após 240 h de tratamento a 30 °C, o extrato de alaybilí apresentou degradação de antocianinas de 16,2%, enquanto o extrato de macha-macha apresentou degradação de 32,2% de antocianinas, para os mesmos tempo e temperatura. Na maior temperatura estudada, 22,9% das antocianinas foram degradadas no extrato de alaybilí, após 40 horas de tratamento a 60 °C, enquanto 46,6% das antocianinas no extrato de macha-macha foram degradadas no mesmo tempo e temperatura, confirmando a maior sensibilidade das antocianinas dos frutos macha-macha. A cianidina é a antocianina predominante nos frutos de alaybilí e frutos do gênero *Gaultheria* (Mieres-Castro et al., 2019; Vasco et al., 2009), normalmente presente como cianidina-3-O-glucosídeo e cianidina-3-O-rutinosídeo. Assim, foi confirmado que a cianidina-3-O-glucosídeo apresenta menor estabilidade à temperatura (Sui et al., 2014; Zhou et al., 2017). Portanto, como apresentado na Tabela 1, a maior degradação das antocianinas presentes nos frutos de macha-macha pode ser devida ao maior teor de cianidina-3-O-glucosídeo no composto antociânico.

A meia-vida da degradação de antocianinas em extratos de frutos de alaybilí e macha-macha, apresentados na Figura 2, oferece informação sobre a influência da temperatura. Note-se que, para temperatura de 30 °C, as antocianinas de alaybilí ofereceram maior resistência à degradação; no entanto, na medida em que a temperatura é aumentada, sua meia-vida se aproxima da meia-vida das antocianinas de frutos de macha-macha. Pode-se inferir que, embora as antocianinas de macha-macha tenham maior sensibilidade, o efeito da temperatura é maior para os extratos de alaybilí.

Tabela 1. Parâmetros cinéticos de primeira ordem para a degradação de antocianinas em extratos de frutos de alaybilí e macha-macha.

Temp. (°C)	$A_0 \pm \text{D.P.}^*$ (mg L ⁻¹)	$k \pm \text{D.P.}$ (h ⁻¹) [coef. determ. R ²]	$t_{1/2} \pm \text{D.P.}$ (h)	Degradação $\pm \text{D.P.}^{**}$ (%)
Alaybilí (<i>Vaccinium floribundum</i> Kunth)				
30	147,31 \pm 0,36	7,07·10 ⁻⁴ \pm 1,83·10 ⁻⁵ [0,9939]	979,99 \pm 25,43	16,2 \pm 5,26
40	148,83 \pm 0,60	1,90·10 ⁻³ \pm 6,04·10 ⁻⁵ [0,9909]	365,58 \pm 11,66	19,2 \pm 2,66
50	145,60 \pm 0,75	3,07·10 ⁻³ \pm 1,18·10 ⁻⁴ [0,9870]	225,71 \pm 8,65	22,5 \pm 0,41
60	143,42 \pm 1,14	5,96·10 ⁻³ \pm 3,62·10 ⁻⁴ [0,9679]	116,3 \pm 7,09	22,9 \pm 1,77
Macha-macha (<i>Gaultheria glomerata</i> (Cav.) Sleumer)				
30	219,10 \pm 1,80	1,62·10 ⁻³ \pm 6,51·10 ⁻⁵ [0,9858]	426,81 \pm 17,13	32,2 \pm 2,53
40	224,11 \pm 0,68	4,20·10 ⁻³ \pm 5,02·10 ⁻⁵ [0,9987]	165,04 \pm 1,97	39,6 \pm 1,85
50	227,02 \pm 2,15	6,75·10 ⁻³ \pm 2,38·10 ⁻⁴ [0,9895]	102,67 \pm 3,62	42,6 \pm 4,78
60	222,60 \pm 1,28	1,71·10 ⁻² \pm 3,03·10 ⁻⁴ [0,9973]	40,44 \pm 0,72	46,6 \pm 4,21

D.P.: Desvio padrão. *Parâmetro obtido pelo modelo cinético de primeira ordem. **Determinado no tempo total do experimento para cada temperatura (40, 80, 120 e 240 horas para temperaturas de 30, 40, 50 e 60 °C, respectivamente).

Os coeficientes de determinação, R², calculados para o ajuste, indicam que a cinética de primeira ordem oferece excelente ajuste para o processo de degradação de antocianina em função do tempo. Em pesquisas anteriores, este modelo foi relatado como aquele que oferece o melhor ajuste na degradação térmica das antocianinas, sendo usado para modelar a degradação de compostos antociânicos em extratos de frutas, como laranja vermelha, amora, morango e framboesa, e em outras fontes de antocianinas, como hibisco e arroz preto (Badin et al., 2020; Cisse et al., 2009; Hou et al., 2013; Patras et al., 2010; Summen & Erge, 2014).

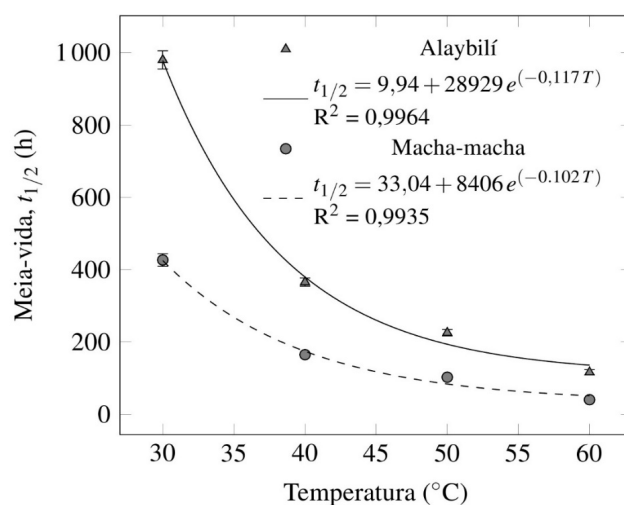


Figura 2. Meia-vida experimental (símbolos) e simulado pelo modelo exponencial (linhas) para extratos antociânicos de frutos de alaybilí e macha-macha.

3.2 Efeito da temperatura nas constantes de velocidade

As constantes de velocidade nos extratos dos frutos de alaybilí e macha-macha aumentam com o aumento da temperatura, exibindo comportamento exponencial, conforme apresentado na Figura 3.

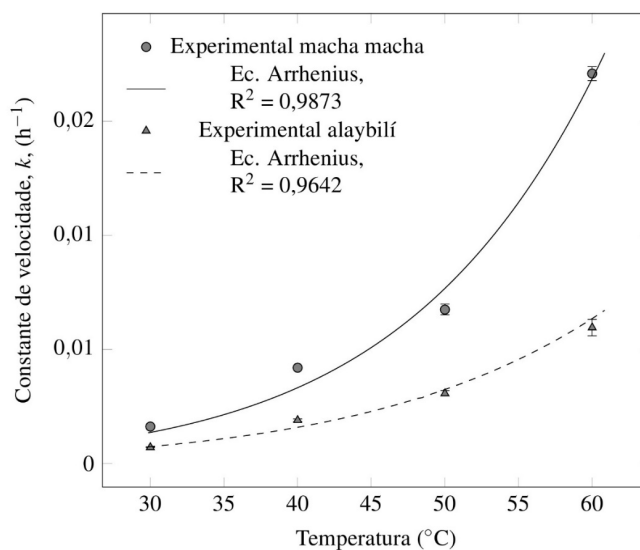


Figura 3. Constantes de velocidade para cinética de primeira ordem na degradação de antocianinas, correlacionadas com a Equação de Arrhenius para extratos de antocianinas de frutos de alaybilí e macha-macha.

As energias de ativação, E_a , determinadas pela equação de Arrhenius para a degradação de antocianinas em extratos de frutos de alaybilí e macha-macha, mostraram-se diferentes, sendo maiores para extratos antociânicos de frutos de macha-macha ($70451,3 \pm 8233,8 \text{ J mol}^{-1}$), quando comparados com extratos antociânicos de frutas alaybilí ($60163,6 \pm 6253,6 \text{ J mol}^{-1}$). Considerando-se que uma maior energia de ativação implica na necessidade de uma menor mudança de temperatura para degradar um composto mais rapidamente (Gaur et al., 2007), podemos inferir que os compostos antociânicos presentes no fruto alaybilí têm maior estabilidade à mudança de temperatura do que os frutos de macha-macha, como também foi confirmado pela meia-vida para as antocianinas de ambos os frutos.

Os valores de energia de ativação encontrados neste estudo ficaram próximos aos relatados por Wang & Xu (2007) para amostras de suco de amora e concentrado de suco de amora, os quais apresentaram valores de 75,5 e 65,05 kJ mol⁻¹, respectivamente. Além disso, foram inferiores ao valor encontrado por Kechinski et al. (2010) para suco de cranberry, que foi de 80,42 kJ mol⁻¹.

4 Conclusões

Foram encontradas diferenças na concentração de antocianinas nos extratos de alaybilí e macha-macha, resultando em 148 e 224 mg L⁻¹ respectivamente, expressos em mg cianidina 3-glucosídeo/L. Também foi verificado que a degradação das antocianinas é altamente influenciada pela temperatura, constatando-se que obedece à cinética de degradação de primeira ordem, para a faixa de temperatura estudada (30 °C a 60 °C). As constantes da taxa de degradação das antocianinas foram maiores na temperatura de 60 °C, resultando em $5,96 \cdot 10^{-3} \pm 3,62 \cdot 10^{-4}$ e $1,71 \cdot 10^{-2} \pm 3,03 \cdot 10^{-4} \text{ h}^{-1}$ para os extratos de alaybilí e macha-macha, respectivamente. Maior energia de ativação ($70451,3 \pm 8233,8 \text{ J mol}^{-1}$) foi determinada para macha-macha, sendo esta, portanto, mais sensível ao aumento da temperatura, quando comparada com a energia de ativação ($60163,6 \pm 6253,6 \text{ J mol}^{-1}$) para extratos de alaybilí.

Referências

- Ali, S. S., Ahsan, H., Zia, M. K., Siddiqui, T., & Khan, F. H. (2020). Understanding oxidants and antioxidants: classical team with new players. *Journal of Food Biochemistry*, 44(3), e13145. PMID:31960481. <http://dx.doi.org/10.1111/jfbc.13145>
- Badin, E. E., Rossi, Y. E., Montenegro, M. A., Ibarz, A., Ribotta, P. D., & Lespinard, A. R. (2020). Thermal processing of raspberry pulp: effect on the color and bioactive compounds. *Food and Bioprocess Processing*, 124, 469-477. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2020.08.016>
- Baiano, A., & Del Nobile, M. A. (2016). Antioxidant compounds from vegetable matrices: biosynthesis, occurrence, and extraction systems. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(12), 2053-2068. PMID:25751787. <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2013.812059>
- Cevallos-Casals, B. A., & Cisneros-Zevallos, L. (2004). Stability of anthocyanin-based aqueous extracts of Andean purple corn and red-fleshed sweet potato compared to synthetic and natural colorants. *Food Chemistry*, 86(1), 69-77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.08.011>
- Cisse, M., Vaillant, F., Acosta, O., Dhuique-Mayer, C., & Dornier, M. (2009). Thermal degradation kinetics of anthocyanins from blood orange, blackberry, and roselle using the arrhenius, eyring, and ball models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(14), 6285-6291. PMID:19545116. <http://dx.doi.org/10.1021/jf900836b>
- Coba Santamaría, P., Coronel, D., Verdugo, K., Paredes, M. F., Yugsi, E., & Huachi, L. (2012). Estudio etnobotánico del mortiño (*vaccinium floribundum*) como alimento ancestral y potencial alimento funcional. *La Granja*, 16(2), 5-13. <https://doi.org/10.17163/lgr.n16.2012.01>
- de Pascual-Teresa, S. (2014). Molecular mechanisms involved in the cardiovascular and neuroprotective effects of anthocyanins. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 559, 68-74. PMID:24791600. <http://dx.doi.org/10.1016/j.abb.2014.04.012>
- del Río-Celestino, M., & Font, R. (2020). The health benefits of fruits and vegetables. *Foods*, 9(3), 369. PMID:32209967. <http://dx.doi.org/10.3390/foods9030369>
- Ellong, E. N., Billard, C., Adenet, S., & Rochefort, K. (2015). Polyphenols, carotenoids, vitamin C content in tropical fruits and vegetables and impact of processing methods. *Food and Nutrition Sciences*, 06(03), 299-313. <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2015.63030>
- Fan, L., Wang, Y., Xie, P., Zhang, L., Li, Y., & Zhou, J. (2019). Copigmentation effects of phenolics on color enhancement and stability of blackberry wine residue anthocyanins: chromaticity, kinetics and structural simulation. *Food Chemistry*, 275, 299-308. PMID:30724200. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.103>
- Feskanich, D., Ziegler, R. G., Michaud, D. S., Giovannucci, E. L., Speizer, F. E., Willett, W. C., & Colditz, G. A. (2000). Prospective study of fruit and vegetable consumption and risk of lung cancer among men and women. *JNCI: Journal of the National Cancer Institute*, 92(22), 1812-1823. PMID:11078758. <http://dx.doi.org/10.1093/jnci/92.22.1812>
- Garzón, G. A., & Wrolstad, R. E. (2002). Comparison of the stability of pelargonidin-based anthocyanins in strawberry juice and concentrate. *Journal of Food Science*, 67(4), 1288-1299. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb10277.x>
- Gaur, S., Shivhare, U. S., Sarkar, B. C., & Ahmed, J. (2007). Thermal chlorophyll degradation kinetics of mint leaves puree. *International Journal of Food Properties*, 10(4), 853-865. <http://dx.doi.org/10.1080/10942910601136450>
- Ghosh, D., & Konishi, T. (2007). Anthocyanins and anthocyanin-rich extracts: role in diabetes and eye function. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 16(2), 200-208. PMID:17468073.

- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 00(1), F1.2.1-F1.2.13. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>
- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2003). Acylated anthocyanins from edible sources and their applications in food systems. *Biochemical Engineering Journal*, 14(3), 217-225. [http://dx.doi.org/10.1016/S1369-703X\(02\)00221-8](http://dx.doi.org/10.1016/S1369-703X(02)00221-8)
- Gordon, M. H. (1996). Dietary antioxidants in disease prevention. *Natural Product Reports*, 13(4), 265-273. PMID:8760864. <http://dx.doi.org/10.1039/np9961300265>
- He, J., & Giusti, M. M. (2010). Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties. *Annual Review of Food Science and Technology*, 1(1), 163-187. PMID:22129334. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.food.080708.100754>
- Hou, Z., Qin, P., Zhang, Y., Cui, S., & Ren, G. (2013). Identification of anthocyanins isolated from black rice (*Oryza sativa* L.) and their degradation kinetics. *Food Research International*, 50(2), 691-697. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2011.07.037>
- Jimenez-Lopez, C., Pereira, A. G., Lourenço-Lopes, C., Garcia-Oliveira, P., Cassani, L., Fraga-Corral, M., Prieto, M. A., & Simal-Gandara, J. (2021). Main bioactive phenolic compounds in marine algae and their mechanisms of action supporting potential health benefits. *Food Chemistry*, 341(Pt 2), 128262. PMID:33038800. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128262>
- Jing, P., & Giusti, M. M. (2011). Contribution of berry anthocyanins to their chemopreventive properties BT - berries and cancer prevention. In N. P. Seeram & G. D. Stoner (Eds.), *Berries and cancer prevention* (pp. 3-40). New York: Springer. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-7554-6_1
- Kechinski, C. P., Guimarães, P. V. R., Noreña, C. P. Z., Tessaro, I. C., & Marczak, L. D. F. (2010). Degradation kinetics of anthocyanin in blueberry juice during thermal treatment. *Journal of Food Science*, 75(2), C173-C176. PMID:20492222. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01479.x>
- López-Vidaña, E. C., Pilatowsky Figueroa, I., Cortés, F. B., Rojano, B. A., & Navarro Ocaña, A. (2017). Effect of temperature on antioxidant capacity during drying process of mortiño (*Vaccinium meridionale* Swartz). *International Journal of Food Properties*, 20(2), 294-305. <http://dx.doi.org/10.1080/10942912.2016.1155601>
- Luteyn, J. L. (2002). Diversity, adaptation, and endemism in neotropical Ericaceae: biogeographical patterns in the Vaccinieae. *Botanical Review*, 68(1), 55-87. [http://dx.doi.org/10.1663/0006-8101\(2002\)068\[0055:DAAEIN\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1663/0006-8101(2002)068[0055:DAAEIN]2.0.CO;2)
- Machado, A. P. D. F., Pasquel-Reátegui, J. L., Barbero, G. F., & Martínez, J. (2015). Pressurized liquid extraction of bioactive compounds from blackberry (*Rubus fruticosus* L.) residues: a comparison with conventional methods. *Food Research International*, 77, 675-683. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2014.12.042>
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 79(5), 727-747. PMID:15113710. <http://dx.doi.org/10.1093/ajcn/79.5.727>
- Martín, J., Kuskoski, E. M., Navas, M. J., & Asuero, A. G. (2017). Antioxidant Capacity of Anthocyanin Pigments. In G. Justino (Ed.), *Flavonoids - from biosynthesis to human health* (pp. 205-255). London: IntechOpen. <http://dx.doi.org/10.5772/67718>
- Mathew, N. S., & Negi, P. S. (2021). Phenolic content and anti-oxidative attributes of various parts of wild banana (*Ensete superbum* Roxb. Cheesman) plant. *Journal of Food Biochemistry*, 45(4), e13657. <http://dx.doi.org/10.1111/jfbc.13657>
- Middleton, D. J. (1991). Ecology, reproductive biology and hybridization in *Gaultheria* L. *Edinburgh Journal of Botany*, 48(1), 81-89. <http://dx.doi.org/10.1017/S0960428600003656>
- Mieres-Castro, D., Schmeda-Hirschmann, G., Theoduloz, C., Gómez-Alonso, S., Pérez-Navarro, J., Márquez, K., & Jiménez-Aspee, F. (2019). Antioxidant activity and the isolation of polyphenols and new iridoids from Chilean *Gaultheria phillyrifolia* and *G. poeppigii* berries. *Food Chemistry*, 291, 167-179. PMID:31006456. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.019>
- Miyagusuku-Cruzado, G., Voss, D. M., & Giusti, M. M. (2021). Influence of the anthocyanin and cofactor structure on the formation efficiency of naturally derived pyranoanthocyanins. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(13), 6708. PMID:34201477. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms22136708>
- National Research Council (1989). *Lost crops of the Incas: little-known plants of the andes with promise for worldwide cultivation*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/1398>
- Neha, K., Haider, M. R., Pathak, A., & Yar, M. S. (2019). Medicinal prospects of antioxidants: a review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 178, 687-704. PMID:31228811. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejmech.2019.06.010>
- Oliveira, L. M., & Antelo, F. L., & Antelo, F. (2020). Thermostability of the visual color and anthocyanins from Rio-Grande-Cherry (*Eugenia involucrata* DC). *Brazilian Journal of Food Technology*, 23, 2019140. <http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.14019>
- Oyarzún, P., Comejo, P., Gómez-Alonso, S., & Ruiz, A. (2020). Influence of profiles and concentrations of phenolic compounds in the coloration and antioxidant properties of *Gaultheria poeppigii* Fruits from Southern Chile. *Plant Foods for Human Nutrition (Dordrecht, Netherlands)*, 75(4), 532-539. PMID:32783148. <http://dx.doi.org/10.1007/s11130-020-00843-x>
- Patras, A., Brunton, N. P., O'Donnell, C., & Tiwari, B. K. (2010). Effect of thermal processing on anthocyanin stability in foods; mechanisms and kinetics of degradation. *Trends in Food Science & Technology*, 21(1), 3-11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2009.07.004>
- Pereira-Netto, A. B. (2018). Tropical fruits as natural, exceptionally rich, sources of bioactive compounds. *International Journal of Fruit Science*, 18(3), 231-242. <http://dx.doi.org/10.1080/15538362.2018.1444532>
- Putta, S., Yarla, N. S., Kumar, K. E., Lakkappa, D. B., Kamal, M. A., Scotti, L., Scotti, M. T., Ashraf, G. M., Rao, B. S. B., Sakala Kumari, D., Reddy, G. V., Tarasov, V. V., Imandi, S. B., & Aliev, G. (2018). Preventive and therapeutic potentials of

- anthocyanins in diabetes and associated complications. *Current Medicinal Chemistry*, 25(39), 5347-5371. <http://dx.doi.org/10.2174/0929867325666171206101945>
- Rodríguez-Saona, L. E., & Wrolstad, R. E. (2001). Extraction, isolation, and purification of anthocyanins. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 00(1), F1.1.1-F1.1.11. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0101s00>
- Rufino, M. S. M., Alves, R. E., Brito, E. S., Pérez-Jiménez, J., Saura-Calixto, F., & Mancini-Filho, J. (2010). Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, 121(4), 996–1002. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.037>
- Salehi, B., Sharifi-Rad, J., Cappellini, F., Reiner, Ž., Zorzan, D., Imran, M., Sener, B., Kilic, M., El-Shazly, M., Fahmy, N. M., Al-Sayed, E., Martorell, M., Tonelli, C., Petroni, K., Docea, A. O., Calina, D., & Maroyi, A. (2020). The therapeutic potential of anthocyanins: current approaches based on their molecular mechanism of action. *Frontiers in Pharmacology*, 11, 1300. PMID:32982731. <http://dx.doi.org/10.3389/fphar.2020.01300>
- Silva, N. L., Crispim, J. M. S., & Vieira, R. P. (2017). Kinetic and thermodynamic analysis of anthocyanin thermal degradation in acerola (*Malpighia emarginata* D.C.) pulp. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(4), e13053. <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.13053>
- Su, M.-S., & Chien, P.-J. (2007). Antioxidant activity, anthocyanins, and phenolics of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei*) fluid products as affected by fermentation. *Food Chemistry*, 104(1), 182-187. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.11.021>
- Sui, X., Dong, X., & Zhou, W. (2014). Combined effect of pH and high temperature on the stability and antioxidant capacity of two anthocyanins in aqueous solution. *Food Chemistry*, 163, 163-170. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.075>
- Summen, M. A., & Erge, H. S. (2014). Thermal degradation kinetics of bioactive compounds and visual color in raspberry pulp. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(1), 551-557. <http://dx.doi.org/10.1111/jfpp.12002>
- Sun, C., Liu, Y., Zhan, L., Rayat, G. R., Xiao, J., Jiang, H., Li, X., & Chen, K. (2020). Anti-diabetic effects of natural antioxidants from fruits. *Trends in Food Science & Technology*, 117, 3-14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.024>
- Vasco, C., Riihinen, K., Ruales, J., & Kamal-Eldin, A. (2009). Chemical composition and phenolic compound profile of mortiño (*vaccinium floribundum kunth*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(18), 8274-8281. PMID:19719139. <http://dx.doi.org/10.1021/jf9013586>
- Verbeyst, L., Crombruggen, K. V., Van der Plancken, I., Hendrickx, M., & Van Loey, A. (2011). Anthocyanin degradation kinetics during thermal and high pressure treatments of raspberries. *Journal of Food Engineering*, 105(3), 513-521. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.03.015>
- Wang, W.-D., & Xu, S.-Y. (2007). Degradation kinetics of anthocyanins in blackberry juice and concentrate. *Journal of Food Engineering*, 82(3), 271-275. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.018>
- Warner, E. F., Rodríguez-Ramiro, I., O'Connell, M. A., & Kay, C. D. (2018). Cardiovascular mechanisms of action of anthocyanins may be associated with the impact of microbial metabolites on heme oxygenase-1 in vascular smooth muscle cells. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 23(4), 898. PMID:29652826. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules23040898>
- Wrolstad, R. E. (2004). Anthocyanin pigments: bioactivity and coloring properties. *Journal of Food Science*, 69(5), C419-C425. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb10709.x>
- Yang, Z., Han, Y., Gu, Z., Fan, G., & Chen, Z. (2008). Thermal degradation kinetics of aqueous anthocyanins and visual color of purple corn (*Zea mays* L.) cob. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(3), 341-347. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2007.09.001>
- Zhou, M., Chen, Q., Bi, J., Wang, Y., & Wu, X. (2017). Degradation kinetics of cyanidin 3-O-glucoside and cyanidin 3-O-rutinoside during hot air and vacuum drying in mulberry (*Morus alba* L.) fruit: a comparative study based on solid food system. *Food Chemistry*, 229, 574-579. PMID:28372217. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.131>

Funding: None

Received: June 13, 2021; Accepted: Nov. 02, 2021

Section Editor: Mateus Petrarca.

ERRATA

ERRATA: Cinética da degradação térmica de antocianinas de alaybilí (*Vaccinium floribundum* Kunth) e macha-macha (*Gaultheria glomerata* (Cav.) Sleumer)

No artigo **Cinética da degradação térmica de antocianinas de alaybilí (*Vaccinium floribundum* Kunth) e macha-macha (*Gaultheria glomerata* (Cav.) Sleumer)**, com número de DOI: <https://doi.org/10.1590/1981-6723.10621>, publicado no periódico **Brazilian Journal of Food Technology**, vol. 25: 10p., e2021106, na página 1:

Onde se lia:

“**Nivia Marisol Paredes-Estrada²**”

Leia-se:

”**Nivia Marisol Pilares-Estrada²**“

Onde se lia:

Cite as: Huarancca-Huarcaya, E., Paredes-Quiroz, L. R., Paredes-Estrada, N. M., Barragán-Condori, M., Huamaní-Meléndez, V. J. (2022). Kinetic of thermal degradation of alaybilí (*Vaccinium floribundum* Kunth) and macha-macha (*Gaultheria glomerata* (Cav.) Sleumer) anthocyanins. *Brazilian Journal of Food Technology*, 25, e2021106. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.10621>

Leia-se:

Cite as: Huarancca-Huarcaya, E., Paredes-Quiroz, L. R., Pilares-Estrada, N. M., Barragán-Condori, M., Huamaní-Meléndez, V. J. (2022). Kinetic of thermal degradation of alaybilí (*Vaccinium floribundum* Kunth) and macha-macha (*Gaultheria glomerata* (Cav.) Sleumer) anthocyanins. *Brazilian Journal of Food Technology*, 25, e2021106. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.10621>