

Variación del color de macroalga *lessonia trabeculata* deshidratada con secador de rayos infrarrojos

Color variation of *lessonia trabeculata* dehydrated with infrared ray dryer

Daphne H. Castro Arata¹, Yuri K. Castillo Flores², Edwin Llamoca Domínguez³, Joanel Anthony Quinteros⁴ y Sheda Méndez Ancca^{5*}

Abstract

Fishmeal concentrates a high percentage of protein and its monetary cost is relatively high, searching for possible alternatives in macroalgae for improvement purposes is an option. Color is a fundamental characteristic of food, however, drying by the Infrared method as an emerging technology for the study of the macroalgae *Lessonia trabeculata* is little studied. For this reason, the degradation and change of color in the drying process by infrared rays (IR) at different temperatures 40°C, 55°C and 70°C were objectively characterized with the color space scale (CIE-L*a*b*), through the use of a spectrophotometer. Drying was carried out with infrared rays in an infrared radiant heating chamber with a power of 4.5kW, 20.5 Amps. The results indicate that the best color treatment determined was for the macroalgae *Lessonia trabeculata* at a temperature of 40°C with values for: L* = 44.758±0.227, a* = -1.564 ± 0.016 and b* = 11.050±0.017; obtaining a first order kinetics for logarithmic scale corresponding to the parameters L*.b* as a function of time, likewise an activation energy value of Ea = 24.062 KJ/mol and the Arrhenius constant k0 = 0.0197 min⁻¹ was reached. It is concluded that there is inverse variability between the color of the macroalgae and the temperature applied in the drying process; being the values of the color parameters L*, a*, b* of the macroalgae decreases as the temperature increases, thereby leading to color degradation.

Keywords: Macroalgae infrared, drying, colorimetry, quality.

Resumen

La harina de pescado concentra alto porcentaje de proteínas y su costo monetario es relativamente alto, buscar posibles alternativas en las macroalgas con propósitos de mejora es una opción. El color es una característica primordial de los alimentos, sin embargo, el secado por el método Infrarrojo como tecnología emergente para el estudio de la macroalga *Lessonia trabeculata* es poco estudiado. Por ello, se caracterizó objetivamente la degradación y cambio del color en el proceso de secado por rayos infrarrojos (IR) a diferentes temperaturas 40°C, 55°C y 70°C con la escala de espacio de color (CIE-L*a*b*), a través del uso de un espectrofotómetro. Se procedió a secar con rayos infrarrojos en una cámara de calentamiento radiante infrarrojo de potencia 4.5kW, 20.5 Amperios. Los resultados indican que el mejor tratamiento de color determinado fue para la macroalga *Lessonia trabeculata* a una temperatura de 40°C con valores para: L* = 44,758±0,227, a* = -1,564 ± 0,016 y b* = 11,050±0,017; obteniendo una cinética de primer orden para escala logarítmica correspondiente a los parámetros L*.b* en función al tiempo, asimismo se alcanzó un valor de Energía de activación de Ea = 24.062 KJ/mol y de la constante de Arrhenius k0 = 0.0197 min⁻¹. Se concluye que existe variabilidad inversa entre el color de la macroalga y la temperatura aplicada en el proceso de secado; siendo los valores de los parámetros de color L*, a*, b* de la macroalga disminuye a medida que se incrementa la temperatura, acarreado con ello la degradación del color.

Palabras clave: Macroalgas, rayos infrarrojos, colorimetría, calidad.

Recibido: 04/07/2021

Aceptado: 28/12/2021

Publicado: 21/02/2022

Sección: Artículo original

*Autor correspondiente: smendeza@unam.edu.pe

Introducción

Las proteínas derivadas de la harina de pescado son fundamentales para el crecimiento y desarrollo de especies pecuarias, pero resultan ser los más caros para el consumo. Cualquier reducción de costos o reemplazo de este ingrediente, como fuente de proteína menos costosa, es de vital importancia y pudiera inducir al mejor tratamiento de costo de producción destinado para consumo animal (Shpigel *et al.*, 2017).

Estudios recientes reportan que los atributos benéficos de la harina de macroalga destinada a la dieta de especies marinas y las otras especies animales favorecen al rendimiento del crecimiento y la producción de calidad de carne, sea como sustituto o complementario de harina

¹ CITE Agroindustrial Moquegua, Instituto Tecnológico de la Producción, Moquegua, Perú.

² Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera, Universidad Nacional de Moquegua, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1762-6889>.

³ CITE Agroindustrial Moquegua, Instituto Tecnológico de la Producción, Moquegua, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0586-8824>.

⁴ CITE Agroindustrial Moquegua, Instituto Tecnológico de la Producción, Moquegua, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0982-499X>.

⁵ Escuela Profesional de Ingeniería Pesquera, Universidad Nacional de Moquegua, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3797-1316>.

Cómo citar: Castro Arata, D. H., Castillo Flores, Y. K., Llamoca Domínguez, E., Quinteros, J. A. y Méndez Ancca, S. (2022). Variación del color de macroalga *lessonia trabeculata* deshidratada con secador de rayos infrarrojos. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(1), 37–44. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.309>.



Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) Share - Adapt

de pescado al igual que se constituyen como fuente probiótico (*et al.*, 2021; *et al.*, 2021).

No obstante a ello, existe cierta desinformación de las propiedades nutricionales de las macroalgas como el contenido de hidrocoloides, productos farmacéuticos, fuente de biofertilizantes, fitohormonas y fitoquímicos que inclusive pueden ser usados para el tratamiento de cáncer (Salavarría y Sujay, 2020).

El escaso conocimiento de los avances tecnológicos de su cultivo; como el logro de la propagación vegetativa de la macroalga *Condrochantus chamissoi* con rendimientos en talla de 4,78 mm. \pm 0.12 mm./día, *Lessonia trabeculata*, *Lessonia nigrescens* y *Macrocystis pyrifera* (Zapata Rojas, 2018), el cultivo masivo en medio natural de *C. chamissoi* obteniendo una talla de 17, 6 cm en 65 días (Cahui-Ccama, 2015; Gonzales-Vargas y Zevallos-Feria, 2020). Asimismo, el desconocimiento de los indicadores de calidad del procesamiento, en especial el proceso inicial de secado para su conservación, hace que se desaproveche el valor de uso en la industria; en consecuencia, es necesario emprender estudios que pudiera validar los diversos procesos.

Las macroalgas son perecibles y requieren de procesos de desecación para su conservación, el secado por rayos infrarrojos es una tecnología emergente (Rastogi y Raghavarao, 2002; Delgado, 2014) por que incrementa la vida útil de los alimentos. En el mismo orden Ratti Mujumdar (2006) sostiene que es de fácil la operatividad y es de bajo costo corroborado por Ježek et al., (2008); sin embargo, modifica la calidad sensorial de la materia prima (Desrosier, 2006), un atributo de calidad modificado es, el color indicador de frescura, palatabilidad, valor nutricional y de fácil medición en comparación al sabor (Campos et al., 1997)

En consecuencia, el criterio de calidad del producto para la valoración organoléptica preferido por los consumidores de apariencia atractiva es de vital importancia, al igual que el color como primer atributo de juzgamiento (Bermejo et al., (2020), del que además se ha comprobado que cuando el color de un alimento cambia, sin alterar su forma, aroma u otros atributos de textura, se obtiene una respuesta de rechazo (Badui, 2006).

El color se evalúa subjetivamente por un panel u objetivamente por instrumentos como un espectrocolorímetro (Novoa y Ramírez-Navas, 2012). Imágenes digitales escaneadas con el uso de una PC el procesamiento digital para una visión artificial (Cömert, Mogol y Gökmen, (2020) y colorímetro que permite generar gama de colores estandarizados relacionados con los atributos del producto (Césari et al., 2016). Las imágenes procesadas se cuantifican con el sistema CIE-L*a*b* (Chutintrasri y Noomhorm, 2007; Demiray y Tulek, 2015; Nguyen et al., 2019), tono (hab*) y croma (Cab*). Otros estudios reportados por Cortés y Chiralt (2008) Demiray y Tulek (2015) sostienen que la degradación del color y los parámetros de color L*, a* y b* pueden ser descrita mediante la energía de activación (Ea). El reporte de cinéticas de primer y de orden cero mediante la ecuación de Arrhenius, relaciona la dependencia de la constante con la temperatura (Demiray y Tulek, 2015).

Además de ellas, el color, es afectado por la temperatura (Demiray y Tulek, 2015) y los métodos de procesamiento y almacenamiento (Novoa y Ramírez-Navas, 2012). Por tanto, el proceso de secado de la

macroalga *Lessonia trabeculata* debe ser evaluado según sus atributos organolépticos del producto a diferentes temperaturas, para identificar la temperatura óptima de secado, por rayos infrarrojos, para la conservación del producto. No obstante, no se dispone de esa información, por lo que, se hace imperante investigar cuales son las condiciones físicas de secado que conserven las características óptimas de color y por lo tanto de calidad sensorial.

La industria de hidrocoloides de macroalgas es una industria en rápido crecimiento con un crecimiento anual en la producción global. La biomasa marina (p. ej., algas) ha atraído una atención considerable como materia prima potencial para biocombustibles, alimentos y biomateriales (Lordan et al., 2011, Alvarado-Morales et al., 2013). Actualmente, la industria de las macroalgas se centra principalmente en productos alimenticios para el consumo humano, que representan entre el 83 y el 90% del valor mundial de las algas marinas (Francavilla et al., 2015; Gomez et al., 2020).

Por consiguiente, la harina de macroalgas como ingrediente alimenticio puede contribuir a la mejora de concentración de alimentos como mecanismo de mejora de productividad, como alternativa de reemplazo a la harina de pescado destinado a la crianza de peces y la producción ganadera en sí (Hoang et al., 2017; Min et al., 2021).

Por indicado, el objetivo del estudio fue caracterizar la degradación y cambio del color en el proceso de secado por rayos infrarrojos (IR) a diferentes temperaturas 40°C, 55°C y 70°C con la escala de espacio de color (CIE-L*a*b*) a través del uso de un espectrofotómetro..

Materiales y métodos

Materia prima

La materia prima utilizada fue la macroalga *Lessonia trabeculata*, proveída por la empresa MARICULTURA LAS BRISAS S.R.L., quienes extrajeron el recurso de las coordenadas: latitud 17°40' 10"S y longitud 71° 21' 43 "W, que pertenece al litoral de Ilo, región Moquegua. Las muestras extraídas del medio natural fueron mantenidas en agua de mar en acuarios acondicionados para mantener su frescura; este proceso se llevó a cabo en los laboratorios del CITE Agroindustrial Moquegua. Posteriormente se procedió a cortar en trozos cuyas dimensiones fueron de 8x3 cm los cuales fueron colocados en una placa perforada en una distribución de 5 por 5 unidades.

Secado por el método infrarrojos

El secado por rayos infrarrojos se realizó en una cámara de calentamiento radiante con módulo infrarrojo de potencia 4.5kW, 20.5 Amperios. Monofásica; Tensión: 220V, 60 Hz., a través del cual se pudo obtener productos de alta calidad con el menor costo, el proceso de secado por Infrarrojo de la macroalga *Lessonia trabeculata* se realizó a las temperaturas de 40°C, 55°C y 70°C, para lo que se utilizó un controlador de temperatura de 30 a 70°C con una desviación de $\pm 1^\circ\text{C}$.

Tabla 1. Parámetros de color en función del tiempo a diferentes temperaturas

T1= 40°C								
Tiempo (min)	a*	b*	L*	L*b*	L*a*b*	Ln(b*)	Ln(L*)	Ln(L*b*)
0	1,988 ± 0,004	4,612 ± 0,047	20,536 ± 0,086	94,708 ± 1,231	188,312 ± 2,181	1,529 ± 0,010	3,022 ± 0,004	4,551 ± 0,013
70	1,045 ± 0,012	5,642 ± 0,024	24,462 ± 0,143	138,023 ± 0,378	144,280 ± 1,930	1,730 ± 0,004	3,197 ± 0,006	4,927 ± 0,003
140	-0,300 ± 0,004	5,885 ± 0,017	30,222 ± 0,519	177,855 ± 3,572	-53,356 ± 1,671	1,772 ± 0,003	3,409 ± 0,017	5,181 ± 0,020
210	-0,539 ± 0,026	7,229 ± 0,082	33,894 ± 0,048	245,008 ± 3,044	-132,141 ± 8,043	1,978 ± 0,011	3,523 ± 0,001	5,501 ± 0,012
280	-0,809 ± 0,002	9,934 ± 0,006	37,877 ± 0,403	376,286 ± 3,886	-304,541 ± 2,217	2,296 ± 0,001	3,634 ± 0,011	5,930 ± 0,010
350	-1,564 ± 0,016	11,05 ± 0,017	44,758 ± 0,227	494,580 ± 3,176	-773,358 ± 11,022	2,402 ± 0,002	3,801 ± 0,005	6,204 ± 0,006
T2= 55°C								
Tiempo (min)	a*	b*	L*	L*b*	L*a*b*	Ln(b*)	Ln(L*)	Ln(L*b*)
0	1,988 ± 0,004	4,593 ± 0,040	20,271 ± 0,193	93,098 ± 1,660	185,110 ± 3,024	1,524 ± 0,009	3,009 ± 0,009	4,534 ± 0,018
30	1,096 ± 0,042	5,559 ± 0,029	22,804 ± 0,102	126,777 ± 1,220	138,947 ± 4,189	1,715 ± 0,005	3,127 ± 0,004	4,842 ± 0,010
60	-0,167 ± 0,002	6,514 ± 0,016	25,566 ± 0,381	166,537 ± 2,116	-27,812 ± 0,176	1,874 ± 0,002	3,241 ± 0,015	5,115 ± 0,013
90	-0,754 ± 0,001	7,253 ± 0,020	28,301 ± 0,040	205,255 ± 0,816	-154,694 ± 2,156	1,981 ± 0,003	3,343 ± 0,001	5,324 ± 0,004
120	-1,150 ± 0,024	8,117 ± 0,078	31,500 ± 0,137	255,687 ± 2,358	-294,006 ± 8,767	2,094 ± 0,010	3,450 ± 0,004	5,544 ± 0,009
150	-1,306 ± 0,051	9,464 ± 0,028	34,833 ± 0,110	329,674 ± 1,216	-430,445 ± 17,759	2,248 ± 0,003	3,551 ± 0,003	5,798 ± 0,004
T3= 70°C								
Tiempo (min)	a*	b*	L*	L*b*	L*a*b*	Ln(b*)	Ln(L*)	Ln(L*b*)
0	1,935 ± 0,012	4,570 ± 0,052	20,533 ± 0,031	93,841 ± 1,097	181,614 ± 1,103	1,520 ± 0,011	3,022 ± 0,001	4,542 ± 0,012
20	0,194 ± 0,025	5,170 ± 0,004	25,327 ± 0,152	130,950 ± 0,825	25,448 ± 3,111	1,643 ± 0,001	3,232 ± 0,006	4,875 ± 0,006
40	-0,275 ± 0,010	5,817 ± 0,087	28,383 ± 0,125	165,102 ± 2,134	-45,348 ± 2,116	1,761 ± 0,015	3,346 ± 0,004	5,107 ± 0,013
60	-0,763 ± 0,012	7,057 ± 0,042	29,094 ± 0,006	205,319 ± 1,194	-156,658 ± 1,900	1,954 ± 0,006	3,371 ± 0,000	5,325 ± 0,006
80	-1,170 ± 0,010	7,674 ± 0,044	30,613 ± 0,158	234,932 ± 0,172	-274,949 ± 2,386	2,038 ± 0,006	3,421 ± 0,005	5,459 ± 0,001
100	-1,252 ± 0,037	8,564 ± 0,182	32,319 ± 0,146	276,788 ± 6,215	-346,630 ± 17,234	2,148 ± 0,021	3,475 ± 0,005	5,623 ± 0,022

Fuente: resultados del procesamiento de información procesada en la investigación.

Determinación del color

La determinación del color se realizó mediante un espectrofotómetro Modelo NS800 de marca 3NH con una estructura óptica geométrica de CIE, ISO, ASTM, estándar DIN con un rango de onda de 400 ~ 700 nm y una medición de apertura de $\Phi 8$ mm, donde se procedió a obtener los valores de L^* , a^* y b^* a las temperaturas de secado Infrarrojo de 40°C, 55°C y 70°C.

Medición de color

La determinación de los parámetros de color de los parámetros L^* , a^* y b^* se midieron en la superficie de las algas, a $T= 40^\circ\text{C}$ por tiempos de 0, 70, 140, 210, 280 y 350 min; $T= 55^\circ\text{C}$ por tiempos de 0, 30, 60, 90, 120 y 150 min y $T=70^\circ\text{C}$ por tiempos de 0, 20, 40, 60, 80 y 100 min, cabe mencionar que estas mediciones se realizaron por triplicado, bajo la lógica de Aghajanzadeh *et al.*, (2016).

Modelamiento Cinético

El comportamiento de los datos experimentales (L^* , a^* , b^* y combinaciones de L^*b^* , $L^*a^*b^*$, $\text{Ln}(b^*)$, $\text{Ln}(L^*)$ y $\text{Ln}(L^*b^*)$) en función del tiempo, se modeló a partir de la ecuación 1, para las temperaturas de trabajo de: $T= 40^\circ\text{C}$ e intervalos de tiempo de 70 min; $T= 55^\circ\text{C}$ e intervalos de 30 min; $T=70^\circ\text{C}$ e intervalos de 20 min.

$$V = -\frac{\partial[A]}{\partial t} = k[A]^n \quad (1)$$

Donde $[A]$ son los parámetros de color y sus combinaciones que se están evaluando con el tiempo; k es la constante de la velocidad de deterioro y n es el orden de la cinética de deterioro. Cabe mencionar el orden de la cinética se determinó con el mejor ajuste de la regresión lineal R^2 con tendencia a uno.

Efecto de la Temperatura

determinar el efecto de la temperatura en grados Kelvin se utilizó el modelo de Arrhenius como se

menciona en la ecuación 2, donde k_0 (min^{-1}) es la constante de Arrhenius o también llamado factor de frecuencia, E_a es la energía de activación (J/mol K), y R es la constante universal de los gases.

$$k = k_0^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (2)$$

Análisis estadístico

Los datos y resultados experimentales de los parámetros de color se realizaron por triplicado, sometiéndose a análisis de varianza (ANOVA) donde se incluyó un test de Tuckey con un nivel de significancia de 0,05, utilizando la Macros Real Statistics del Microsoft Excel 2014.

Resultados

Las muestras de la macroalga de *Lessonia trabeculata* presentaron una humedad inicial de 88.646 ± 0.1662 , posteriormente fueron sometidas a un proceso de secado por rayos infrarrojos a diferentes temperaturas: $T1 = 40^\circ\text{C}$, en el que se midió el tiempo cada 70 min; $T2 = 55^\circ\text{C}$, en el que se midió el tiempo cada 30 min; $T3 = 70^\circ\text{C}$, en el que se midió el tiempo cada 20 min, en razón del mayor tiempo de secado (Tabla 1).

Como se evidencia en la tabla 1, el tiempo de secado para obtener la humedad óptima, sin sacrificar la calidad sensorial, se obtuvo con el tratamiento $T1 = 40^\circ\text{C}$ y un tiempo 350 min. Asimismo, se evaluaron los parámetros de color L^* , a^* , b^* y sus combinaciones de L^*b^* , $L^*a^*b^*$, $\text{Ln}(b^*)$, $\text{Ln}(L^*)$ y $\text{Ln}(L^*b^*)$ en función del tiempo, parámetros con los cuales se calculó el R^2 , ajuste de la curva, evidenciando el valor más cercano a uno, es de $\text{Ln}(L^*b^*)$ en función del tiempo teniendo un $R^2 = 0.9959$ a un $T=40^\circ\text{C}$ valor que se identifica como cinética de primer orden. Estos parámetros se analizaron para orden cero y orden uno (Tabla 2 y Tabla 3).

En la Tabla 3 se muestra el valor de 0,9959 máximo para el R^2 de orden uno, que pertenece a la combinación $\text{Ln}(L^*b)$, valor que indica que a la temperatura de

Tabla 2. Valores de R² de orden cero

Temperatura (°C)	a* vs tiempo		b* vs tiempo		L* vs tiempo		L*b* vs tiempo		L*a*b* vs tiempo	
	k	R ²	k	R ²	K	R ²	k	R ²	k	R ²
40	0,00960	0,93080	0,0189	0,9343	0,0674	0,9918	11,352	0,9402	25,443	0,8910
55	0,02270	0,92290	0,0312	0,9990	0,0968	0,9972	15,317	0,9785	42,891	0,9876
70	0,02930	0,84920	0,0410	0,9899	0,1079	0,9126	18,098	0,9988	52,196	0,9900
350	-1,564 ± 0,016	11,05 ± 0,017	44,758 ± 0,227	494,580 ± 3,176	-773,358 ± 11,022	2,402 ± 0,002	3,801 ± 0,005	6,204 ± 0,006		

Tabla 3. Valores de R² de orden uno

Temperatura (°C)	Ln(b*) vs tiempo		Ln(L*) vs tiempo		Ln(L*b*) vs tiempo	
	k	R ²	K	R ²	k	R ²
40	0,0026	0,9646	0,0022	0,9885	0,0047	0,9959
55	0,0046	0,9901	0,0036	0,9991	0,0082	0,9955
70	0,0065	0,9904	0,0041	0,8741	0,0105	0,9753

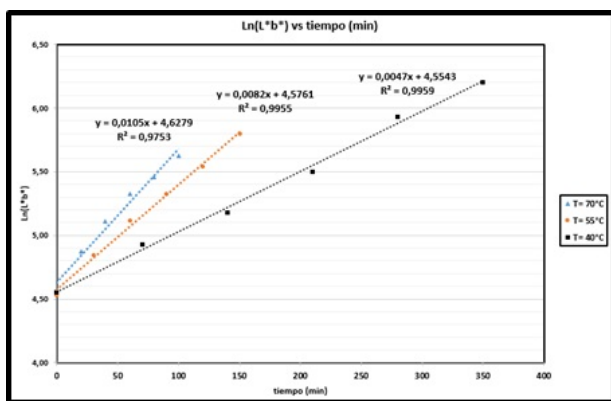


Figura 1. Ln (L*b*) en función al tiempo (min)

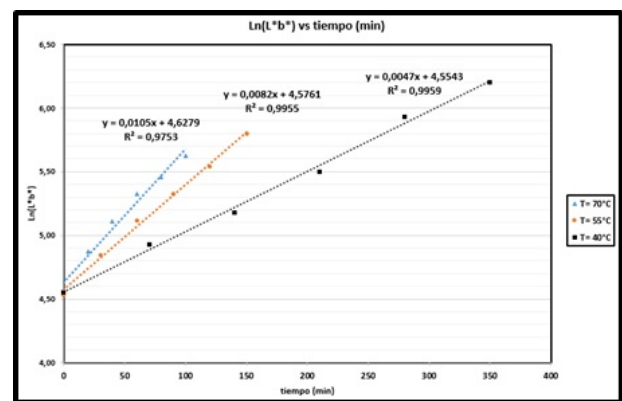


Figura 2. Grafica de Ln K en función a 1/T (K⁻¹)

40°C es óptima para el procesamiento de secado de la macroalga *L. trabeculata*, Por lo que, en relación al tiempo demuestran una cinética de orden 1; asimismo, se realizó el test de Tuckey con grado de significancia de 0.05, encontrando valores de P_{value} de 0.0012 ± 0.0012 para las curvas de Ln(L*b) en función del tiempo, evidenciando que la cinética de orden uno, para el parámetro de temperatura es la que más se ajusta a este tipo de producto (Figura 1)

Una vez determinada la cinética de orden uno para el secado mediante el Infrarrojo, se determinó los parámetros cinéticos como la k0 constante de Arrhenius (tiempo⁻¹) y la Energía de activación (KJ/mol); usando la información de la tabla 3 (Figura 2). Donde la pendiente de la ecuación lineal representa la E_a/R (E_a= Energía de activación y R= constante universal de los gases 8.314 J/mol.K) y el término independiente de la ecuación representa el valor de Ln k₀.

Una vez obtenida la ecuación lineal de la Figura 2, se obtienen los resultados de la Tabla 4, donde la Energía de activación alcanzó un valor de E_a = 24.062 KJ/mol y la constante de Arrhenius k₀ = 0.0197 min⁻¹, generando la ecuación 3 que predijo los procesos de calentamiento mediante el secado por Infrarrojo dentro del rango de temperaturas de T=40°C, T= 55°C y T= 70°C.

$$-\frac{\partial [L^* \cdot b^*]}{\partial t} = 0,0197 \cdot e^{-2894 \cdot \frac{1}{T}} [L^* \cdot b^*] \quad (3)$$

La degradación del color incrementó con el aumento de la temperatura y el tiempo del proceso de secado disminuyó (Tabla 5).

Discusión

Las combinaciones de los parámetros de color de L*b*, L*a*b*, Ln(b*), Ln(L*) y Ln(L*b*) en función con el tiempo, se realizaron según los resultados de Aghajanzadeh *et al.* (2016), donde estas combinaciones tenían los R² más próximos a uno. Estos parámetros se analizaron para orden cero y orden uno (Tabla 2 y 3).

Se realizó las diferentes conjugaciones con los parámetros de color mediante la ecuación 1, estimando que la ecuación logarítmica Ln(L*.b*) versus tiempo a diferentes temperaturas (40, 55 y 70 °C), por IR, reportó el valor de k0 de 0,0197 min⁻¹ para la macroalga *Lessonia Trabeculata*, valor cercano a 0.028 ± 0.01min⁻¹ de parámetros L*.b* como expresión logarítmica versus el tiempo para jugo de lima (Aghajanzadeh *et al.*, 2016b).

Para determinar valores de la escala CIE-L*a*b*, luminosidad (L*), enrojecimiento (a*), amarillento (b*) se secaron rodajas de zahoria por convección forzada a diferentes temperaturas de secado (45, 55 y 65°C), llegando a la conclusión que el modelo cinético cero y primer orden fueron óptimos para describir el cambio de color (Demiray Tulek, 2015). Cabe mencionar que para los parámetros L* y b* encajaban bien en el modelo cinético de primer orden (Chutintrasri Noomhorm, 2007).

Tabla 4. Resultado de Paramétricos Cinéticos de primer orden respecto a L*b*

Temperatura (°C)	Temperatura (K)	K (min ⁻¹)	R ²	Lnk	1/Temperatura (K ⁻¹)	E/R	E (KJ)	Ln k ^o	K ^o (min ⁻¹)
40	313,15	0,0047	0,9959	-53,602	0,0032				
55	328,15	0,0082	0,9955	-48,036	0,0030	2894,1	24,062	-39,249	0,0197
70	343,15	0,0105	0,9753	-45,564	0,0029				

Tabla 5. Tabla de valores máximos de CIELAB, encontrados en cada tratamiento

Tratamientos	Temperatura (°C)	Tiempo de tratamiento (min)	a*	b*	L*
T1	40°C	350	-1,564±0,016	11,050±0,017	44,758±0,227
T2	55°C	150	-1,306±0,051	9,464±0,280	34,833±0,110
T3	70°C	100	-1,252±0,037	8,564±0,182	32,319±0,146

La Energía de Activación fue de 24,062 KJ/mol para la cinética de primer orden a la macroalga *Lessonia Trabeculata* respecto a la multiplicación de los parámetros L*.b* de forma logarítmica vs el tiempo, valores que están en el rango de 19,71 y 41,64 kJ/mol tomando la experiencia de degradación de espinacas por calentamiento Infrarrojo (Aghajanzadeh *et al.*, 2016b; Ahmed *et al.*, 2002).

Cortés y Chiralt (2008) estudiaron que la temperatura de refrigeración óptima en frutas fue de 4°C, a diferencia de temperaturas mayores a 20°C donde ocurren los mayores cambios del color (pardeamiento), con una tendencia hacia los rojos (>a*), de color pálido a oscuro (<L*) y menos puro (<Cab*), siendo la cinética de primer orden la que mejor se ajusta a la regresión presentada en los parámetros de color.

El valor de b* (11,050±0,017), a medida que aumenta la temperatura, disminuye, notándose en la tendencia (incremento) hacia el color azul, y el valor de L*=44,758±0,227 disminuye con el incremento de la temperatura de 55°C y 70°C.

A temperatura de 40°C el tiempo de secado es 350 min; asimismo, la luminosidad incrementa con un valor de L de 44,758 ± 0,227, mientras que en los otros tratamientos a temperaturas de 55°C y 70°C disminuye el tiempo de secado y la L* con valores de 34,833 ± 0,110 y 32,319 ± 0,146, respectivamente.

En los tratamientos, los valores de a* nos indican la variación de color desde verde claro (-a*) hasta rojo claro en +a*, y siendo que el valor de a* para el primer tratamiento es igual a* -1,564 ± 0,016, el color de la macroalga *L. trabeculata*, deshidratada por IR tiende al verde más claro; b* vira hacia el color marrón (11,050 ± 0,017) y la luminosidad L* 44,758 ± 0,227 tiende al blanco, es decir a tener mayor grado luminosidad. En consecuencia, el T1, representa el mejor proceso de secado, en comparación a T2 y T3 cuyos valores de a* y b* disminuyen, afectando la apariencia y valor nutricional del producto. L*, a* y b* disminuyen con el incremento de la temperatura.

Los procesos reportados de secado tienen similitudes de L*, a* y b*, cuando se estudió la variación de color del melón secado a 25°C con una potencia de microondas 1.5 W/g y valores aproximados para L* = 40,00 , a*=-8,10, b*=26, 50 que resultaron en niveles altos de retención de nutrientes Nguyen *et al.*, (2019). El valor de L* de

zanahorias secadas por aire caliente a 65°C disminuyó de 57,87 a 49,32 Demiray Tulek, (2015). En el manjar blanco las coordenadas fueron: L*=43,60, a*=14,58 y b*=34,67, reportándose en este trabajo la existencia de una variabilidad considerable de color que permitió obtener un valor promedio referencial para la fabricación de este producto, con lo que se lograría estandarizar el proceso (Novoa y Ramírez-Navas, 2012; Aghajanzadeh *et al.*, 2016b).

La pérdida de la luminosidad disminuye la calidad y el nivel de nutrientes, compuestos fenólicos, vitamina C, (Nguyen *et al.*, 2019; Aghajanzadeh *et al.*, 2016a) y corroborados en otros estudios (Bixley *et al.*, 2018; Berry *et al.*, 2021; Cömert *et al.*, 2020; Schifferstein, Wehrle y Carbon, (2019); asimismo, la variación de las condiciones ambientales de salinidad e irradiación incidirán en las características nutricionales de la macroalga *Cracilariopsis Longissima* (Bermejo *et al.*, 2020).

Por consiguiente, los indicadores obtenidos en el estudio corroboran que las macroalgas como insumo para los propósitos descritos pueden constituirse en una opción alimenticia de menor costo y promover su desarrollo (Gomez *et al.*, 2020), dado que la valorización de macroalgas ha demostrado ofrecer ventajas agroindustriales, por los que se requiere realizar mayores estudios marinos y también el ambientes acuáticos de las lagunas de los andes para priorizar su aprovechamiento de recursos naturales existentes en la biomasa de macroalgas (Morales-Contreras *et al.*, 2022).

El requerimiento de mayores estudios sobre macroalgas para los propósitos descritos y con fines de tratamiento ambiental deben integrarse tanto en el monitoreo y la evaluación ecológica de los lagos (Ecke, 2018), entre ellos el lago Titicaca, a fin de fomentar el desarrollo sostenible de las montañas desde la perspectiva interdisciplinaria y transdisciplinaria de la región andina en pro de la interacción entre el ser humano y el medio ambiente (Escobar-Mamani *et al.*, 2020) en la búsqueda de alternativas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente como las que promueve los objetivos del desarrollo sostenible al 2030 para transformar el paradigma de desarrollo sea inclusivo y con visión de largo plazo para satisfacción de la humanidad (ONU / CEPAL, 2017).

Conclusiones

El proceso de secado con temperatura de 40°C, valores de a^* ($-1.564 \pm 0,016$), b^* ($11,050 \pm 0,017$) y L^* ($44,758 \pm 0,227$) y tiempo de 350 min de secado por IR, evidenció ser el mejor tratamiento para el proceso de secado de la macroalga *Lessonia trabeculata*.

En razón de que el valor de a^* tiende a un verde más claro, el valor de b^* hacia un amarillo intenso y L^* una mayor luminosidad, asimismo se obtiene la constante de Arrhenius $k_0 = 0.0197 \text{ min}^{-1}$ y la energía de activación $E_a = 24,062 \text{ KJ/mol}$, correspondiente a la degradación del color en la macroalga.

Referencias

- Aghajanzadeh, S., Kashaninejad, M. y Ziaifar, A. M. (2016a). *Ciencia innovadora de los alimentos y tecnologías emergentes fisicoquímicas clave del jugo de lima*. 38, 139–148.
- Aghajanzadeh, S., Kashaninejad, M. y Ziaifar, A. M. (2016b). Effect of infrared heating on degradation kinetics of key lime juice physicochemical properties. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 38, 139–148. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.09.027>.
- Aghajanzadeh, S., Ziaifar, A. M., Kashaninejad, M., Maghsoudlou, Y. y Esmailzadeh, E. (2016). Thermal inactivation kinetic of pectin methylesterase and cloud stability in sour orange juice. *Journal of Food Engineering*, 185, 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.04.004>.
- Ahmed, J., Kaur, A. y Shivhare, U. (2002). Color degradation kinetics of spinach, mustard leaves, and mixed puree. *Journal of Food Science*, 67(3), 1088–1091. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb09457.x>.
- Badui, S. (2006). *Química de los Alimentos*. Pearson Educación. México.
- Bermejo, R., Macías, M., Sánchez-García, F., Love, R., Varela-Álvarez, E. y Hernández, I. (2020). Influence of irradiance, dissolved nutrients and salinity on the colour and nutritional characteristics of *Gracilariopsis longissima* (Rhodophyta). *Algal Research*, 52(November), 102121. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.102121>.
- Berry, H. M., Lai, F., Kende, A., Rickett, D. V., Baxter, C. J., Enfissi, E. M. A. y Fraser, P. D. (2021). Understanding colour retention in red chilli pepper fruit using a metabolite profiling approach. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 2, 100013. <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2021.100013>.
- Bixley, G. S., Clark, K. M. y James, A. P. (2018). Skin colour predicts fruit and vegetable intake in young Caucasian men: A cross-sectional study. *Journal of Nutrition and Intermediary Metabolism*, 12, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.jnim.2018.06.001>.
- Cahui-Ccama, J. M. (2015). *Efecto del sustrato sobre el crecimiento y supervivencia de Chondracanthus chamissoi, en cultivo en sistema suspendido en el Litoral Marino de Ilo* (Issue 052).
- Campos, J., Hita, E., Romero, J., Melgosa, M., Artigas, J. M., Capilla, P., Felipe, A., Verdú, F. M., Pujol, J., Negueruela, I. y Jiménez del Barco, L. (1997). *Optiva pura y aplicada*. 30, 1–35.
- Césari, M., Stefanoni, M. E. y Ventretera, N. (2016). *Nuevo método de medida del color para alimentos vegetales*. Nuevo método de medida del color para alimentos vegetales. Cuarto Congreso Internacional de Educación en Ciencias Empíricas en Facultades de Ingeniería, Universidad Tecnológica Nacional, Mendoza, Argentina. https://www.researchgate.net/publication/325153797_Nuevo_metodo_de_medida_del_color_para_alimentos_vegetales..
- Chutintrasri, B. y Noomhorm, A. (2007). Color degradation kinetics of pineapple puree during thermal processing. *LWT - Food Science and Technology*, 40(2), 300–306. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2005.11.003>.
- Cömert, E. D., Mogol, B. A. y Gökmen, V. (2020). Relationship between color and antioxidant capacity of fruits and vegetables. *Current Research in Food Science*, 2, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2019.11.001>.
- Cortés, M. y Chiralt, A. (2008). Cinética de los cambios de color en manzana Deshidratada por aire fortificada con vitamina E. *VITAE*, 15(1), 8–16. <http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v15n1/v15n1a02.pdf>.
- Costa, M., Cardoso, C., Afonso, C., Bandarra, N. M. y Prates, J. A. M. (2021). Current knowledge and future perspectives of the use of seaweeds for livestock production and meat quality: a systematic review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 105(6), 1075–1102. <https://doi.org/10.1111/jpn.13509>.
- Delgado, E. (2014). *Diseño, modelo matemático y construcción de un secadero optimizado con energías limpias*.
- Demiray, E. y Tulek, Y. (2015). Color Degradation Kinetics of Carrot (*Daucus carota* L.) Slices during Hot Air Drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 800–805. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12290>.
- Desrosier, N. W. (2006). *Conservación de alimentos, México* (Compañía).
- Ecke, F. (2018). The added value of bryophytes and macroalgae in ecological assessment of lakes. *Ecological Indicators*, 85(June 2017), 487–492. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.069>.
- Escobar-Mamani, F., Branca, D. y Haller, A. (2020). Investigación de montaña sobre y para la región andina. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(4), 311–312. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.191>.
- Francavilla, M., Manara, P., Kamaterou, P., Monteleone, M. y Zabaniotou, A. (2015). Cascade approach of red macroalgae *Gracilaria gracilis* sustainable valorization by extraction of phycobiliproteins and pyrolysis of residue. *Bioresource Technology*, 184, 305–313. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.10.147>.
- Gomez, L. P., Alvarez, C., Zhao, M., Tiwari, U., Curtin, J., Garcia-Vaquero, M. y Tiwari, B. K. (2020). Innovative processing strategies and technologies to obtain hydrocolloids from macroalgae for food applications. *Carbohydrate Polymers*, 248 (July), 116784. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116784>.
- Hoang, T. H., Stone, D. A. J., Duong, D. N., Bansemmer, M. S., Harris, J. O. y Qin, J. G. (2017). Colour change of greenlip abalone (*Haliotis laevigata* Donovan) fed formulated diets containing graded levels of dried macroalgae meal. *Aquaculture*, 468, 278–285. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.10.027>.

- Ježek, D., Tripalo, B., Brnčić, M., Karlović, D., Rimac-Brnčić, S. y Vikić-Topić, D. (2008). Dehydration of Celery by Infrared Drying. *Croatica Chemica Acta*, 81, 325–331..
- Min, B. R., Parker, D., Brauer, D., Waldrip, H., Lockard, C., Hales, K., Akbay, A. y Augyte, S. (2021). The role of seaweed as a potential dietary supplementation for enteric methane mitigation in ruminants: Challenges and opportunities. *Animal Nutrition*, 7(4), 1371–1387. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.10.003>.
- Morales-Contreras, B. E., Flórez-Fernández, N., Dolores Torres, M., Domínguez, H., Rodríguez-Jasso, R. M. y Ruiz, H. A. (2022). Hydrothermal systems to obtain high value-added compounds from macroalgae for bioeconomy and biorefineries. *Bioresource Technology*, 343 (July 2021).<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126017>.
- Nguyen, T. V. L., Nguyen, P. B. D., Luu, X. C., Huynh, B. L., Krishnan, S. y Huynh, P. T. (2019). Kinetics of nutrient change and color retention during low-temperature microwave-assisted drying of bitter melon (*Momordica charantia* L.). *Journal of Food Processing and Preservation*, 43 (12), 1–12.<https://doi.org/10.1111/jfpp.14279>.
- Novoa, D. F. y Ramírez-Navas, J. S. (2012). Colorimetric Characterization of Manjar Blanco Del Valle. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10 (2), 54–60..
- ONU/CEPAL. (2017). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. CEPAL.<http://repositorio.cepal.org/handle/11362/40155>.
- Rastogi, N. K. y Raghavarao, K. S. M. . (2002). Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Food Sci. and Technol*, 13(2), 48–59. .
- Ratti, C. y Mujumdar, A. S. (2006). Infrared Drying. En A. Mujumdar, *Handbook of Industrial Drying* (pp. 423–438). Taylor Francis..
- Salavarría, E. A. y Sujay, P. (2020). *Industrial and Environmental Biotechnology Mini Review Una mirada a los estudios de transcriptoma en al - gas pardas de importancia industrial, en especial del género Macrocystis*. 27 (1), 49–53..
- Schifferstein, H. N. J., Wehrle, T. y Carbon, C. C. (2019). Consumer expectations for vegetables with typical and atypical colors: The case of carrots. *Food Quality and Preference*, 72, 98–108.<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.10.002>.
- Sekine, T., Nagai, H. y Hamada-Sato, N. (2021). Antihypertensive and probiotic effects of hidakakombu (*Saccharina angustata*) fermented by lacticaseibacillus casei 001. *Foods*, 10(9), 1–11 <https://doi.org/10.3390/foods10092048>.
- Shpigel, M., Guttman, L., Shauli, L., Odintsov, V., Ben-Ezra, D. y Harpaz, S. (2017). *Ulva lactuca* from an Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) biofilter system as a protein supplement in gilthead seabream (*Sparus aurata*) diet. *Aquaculture*, 481, 112–118.<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.08.006>.
- Zapata-Rojas, J. C., Gonzales-Vargas, A. M. y Zevallos-Feria, S. A. (2020). Estudio comparativo para propagación vegetativa de *Chondracanthus chamissoi* “Yuyo” sobre tres tipos de sustrato en ambiente controlado y su viabilidad en la región Moquegua. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 11(4), 37–47. <https://doi.org/https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v11n4.642>.
- Zapata Rojas, C. (2018). *Estudio comparativo en la propagación vegetativa de Chondracanthus chamissoi “yuyo” en tres tipos de sustrato en ambiente controlado en la Región Moquegua*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Moquegua]. <https://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/75..>

