

EFFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA VIDA ÚTIL DE PRODUCTOS A BASE DE GRANO REVENTADO DE AMARANTO

Lara Nelly ^{1*} y Mejía Ana ^{1,2}

¹ DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y CALIDAD, ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA, INIAP, QUITO ECUADOR, Telefax: 3007134.

² ESCUELA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL, UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, IBARRA, ECUADOR

* Directora Proyectos IFS E/2468-2F y PFN 016: Moisture sorption isotherm, shelf life and nutritional quality of popped amaranth grain-based products, E-mail: nlara@interactive.net.ec

Palabras clave: Productos de amaranto, modelo de Arrhenius, energía de activación, vida útil.

RESUMEN

El modelo de Arrhenius fue utilizado para determinar la energía de activación, asociada a la razón incremental de absorción de humedad y a la de valor de peróxido, durante el período de almacenamiento de muestras de grano reventado de amaranto (*Amaranthus caudatus*), cereal para desayuno y barras crocantes. Los tres productos de amaranto empacados tanto en fundas de polipropileno metalizado (PPM) como, en políester polietileno (PET) fueron mantenidos a condiciones: normal (25°C), acelerada (30°C) y extrema (35°C). Los modelos de regresión simple fueron utilizados para determinar la correlación y dependencia entre variables de medición sensoriales (rancidez y crocancia) y no sensoriales (valor de peróxido y fuerza máxima de compresión).

La energía de activación derivada del efecto de la temperatura sobre la razón incremental de absorción de humedad fue estadísticamente similar ($p > 0.05$) entre los productos de amaranto (50 a 57 KJ/mol) y fue significativamente diferente ($p < 0.05$) entre materiales de empaque. Bajo el mismo fundamento, la energía de activación calculada desde la razón incremental de valor de peróxido vario significativamente tanto entre los productos de amaranto como, entre los materiales de empaque. La correlación y la dependencia entre respuestas sensoriales y no sensoriales, fueron altas, evidenciando que el valor de peróxido y la fuerza máxima de compresión pueden ser utilizados en la estimación del tiempo de vida útil del grano reventado de amaranto y sus dos productos: cereal para desayuno y barras crocantes.

INTRODUCCIÓN

El interés en el grano de amaranto, un seudocereal de uso ancestral en alimentación, está basado en la capacidad natural de reventado (Zapotoczný et al., 2006; Iyota et al., 2005; Lara & Ruales 2002), en las características del almidón (González et al., 2007, Lara & Ruales 1999a), en el valor nutritivo (Gamel et al., 2006, Gamel et al., 2005, Lara & Ruales 1999b) y en el uso potencial como ingrediente de los productos: cereal para desayuno y barras crocantes (Lara 1999), bajos en contenido de humedad. Sin embargo, la principal desventaja en estos alimentos de bajo contenido de humedad, es el periodo de estabilidad del producto en anaquel o tiempo de vida útil (Neilson et al., 2006, Lara & Mejía 2004). En este caso, asociado a la aparición de rancidez por oxidación de los lípidos (Al-Ismail et al., 2007; Martínez-Tome et al., 2004, Lara & Mejía 2004), a la pérdida de crocancia por ganancia de humedad (Lucas et al., 2007, Lara & Cangás 2004) y al rompimiento del producto durante el manejo y distribución (Barret et al., 1994). Las reacciones de degradación inician debido a la propia composición del producto y/o por efecto de factores críticos del ambiente alrededor del alimento, tales como: oxígeno, temperatura, luminosidad y humedad relativa (Speigel 1992). Los materiales de empaque desarrollados, específicamente, para este tipo de productos actúan como barreras contra el oxígeno, la humedad y la intensidad de luz, retardando o inhibiendo las reacciones de deterioro (Roberson 1992). Temperaturas durante el almacenado y distribución del producto, por encima de los niveles normales, aceleran la autooxidación de los lípidos, (Taoukis et al., 1997, Almeida-Domínguez et al., 1992).

El uso de pruebas de vida útil es reconocido para determinar el tiempo de expiración de un producto en el mercado (Lee & Resurreccion 2006), siendo la duración de un producto, antes de que sea rechazado por el consumidor de gran interés para la industria de alimentos (Chávez et al., 2003). En la industria de alimentos, las pruebas de tiempo de vida útil a menudo son conducidas para determinar el período de estabilidad básica de un producto. La estabilidad del producto es evaluada mediante la medición de factores químicos, físicos y sensoriales en función al tiempo (Lara & Mejía, 2004) y a la energía de activación resultante de la sensibilidad de las reacciones de deterioro a la temperatura (Almeida-Domínguez et al., 1992). Sin embargo, debido al costo, más de dos temperaturas no son evaluadas, especialmente, por análisis sensorial. El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto combinado de la temperatura y la humedad relativa sobre la estabilidad o vida útil de los productos de amaranto, evaluada mediante: la energía de activación, correspondiente a las variaciones de valor de peróxido y de absorción de humedad; y las correlaciones entre respuestas sensoriales y mediciones analíticas o instrumentales.

CONSIDERACIONES TEORICAS

Efecto de la temperatura y energía de activación

La razón incremental de factores causantes de deterioro en función de la temperatura puede ser explicada mediante el modelo de Arrhenius (Almeida Domínguez et al., 1992, Taoukis et al., 1997) Ec. (1):

$$k = k_A \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (1)$$

Donde: k es la razón incremental de factores de deterioro como valor de peróxido y absorción de humedad, k_A es la constante pre-exponencial, E_a es la energía de activación de Arrhenius (KJ/mol), siendo una medida de la sensibilidad de la reacción de deterioro a la temperatura, R es la constante ideal de los gases (8.314 joules/mol K), y T es la temperatura en Kelvin. La E_a es posible determinar desde el gráfico logaritmo natural de k en función del inverso de la temperatura absoluta, el cual da línea recta con pendiente $-E_a/R$.

Correlación entre medidas sensoriales y no sensoriales.

La correlación de rancidez sensorial y valor de peróxido se analiza con el modelo multiplicativo (Bourne 2002), Ec. (2).

$$y = ax^b \quad (2)$$

Donde: y es rancidez sensorial, x es valor de peróxido, a la constante y b la pendiente de la curva.

La correlación crocancia sensorial frente a fuerza máxima de compresión se ajusta mejor con el modelo lineal, Ec. (3).

$$y = bx + a \quad (3)$$

Donde: y es crocancia sensorial, x es fuerza máxima de compresión, interpretada como fuerza requerida para el fraccionamiento del producto, a la ordenada al origen y b la pendiente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia prima

Grano de la variedad INIAP-Alegría (*Amaranthus caudatus*) fue producido por el FEPP-Latacunga a través de pequeños agricultores de la zona central del país. Muestras de 1 Kg de grano fueron acondicionadas a 12% de humedad de acuerdo a la descrito en (Lara & Ruales 2002).

Reventado del grano y elaboración de productos

Se utilizó una reventadora de canguil por aire seco (West Bend Poppery II hot air corn popper, The West Bend Co, Wisconsin, USA) adaptada para controlar temperatura y flujo de aire (Lara & Ruales 2002). El grano reventado de amaranto fue el ingrediente principal de los productos cereal para desayuno y barras crocantes. Se utilizó miel de panela y miel de abeja como edulcorantes. Los ingredientes complementarios fueron coco rallado y almidón en el caso de las barras crocantes y, coco rallado y pasas para el producto cereal para desayuno (Lara 1999).

Ensayo de tiempo de vida útil

Se utilizó muestras de tres productos: grano reventado, cereal para desayuno y barras crocantes de amaranto (Lara 1999). El período de almacenamiento fue 90 días. Los muestreos fueron cada 15 días. Las variables independientes evaluadas por Lara & Mejía (2004) fueron: productos de amaranto, tres niveles (grano reventado, cereal y barras crocantes); condiciones de almacenado (Speigel 1992), tres niveles (Normal, 25°C/50% hr; Acelerada, 30°C/75% hr y Extrema, 35°C/100% hr) y material de empaque, dos niveles (PPM y PET).

Variables dependientes

Las variables de medición: absorción de humedad, valor de peróxido, fuerza máxima de compresión, rancidez sensorial e intensidad de crocancia fueron determinadas por Lara & Mejía (2004). Escalas sensoriales de 5 categorías fueron utilizadas para detección de rancidez (1 no rancio, 2 poco rancio, 3 rancio, 4 muy rancio, 5 extremadamente rancio) e intensidad de crocancia (1 no crocante, 2 poco crocante, 3 crocante, 4 muy crocante y 5 extremadamente crocante).

Análisis Estadístico

El software Statgraphics Plus, versión 5.1 fue usado para el análisis estadístico de resultados y el ajuste de curvas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la temperatura y energía de activación

La razones incrementales de absorción de humedad (g de H₂O/100g de muestra, día) y valor de peróxido (meq de O₂/Kg de grasa, día), las dos obtenidas respectivamente, desde las curvas de absorción de humedad y valor de peróxido en función del tiempo (Lara & Mejía 2004), fueron graficadas frente a la temperatura, correspondiente a las tres condiciones de almacenamiento (Fig. 1) y (Fig.2).

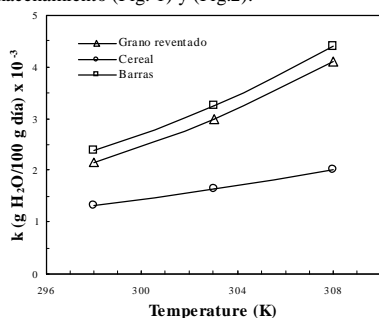


Figura 1. Razón incremental de absorción de humedad en los productos de amaranto por efecto de la temperatura.

El estadístico R² mostró que el modelo de Arrhenius explica entre el 78.9 al 86.3% de la variabilidad de la razón incremental de absorción de humedad y entre el 87.3 al 98.6 % de la variabilidad de la razón incremental de valor de peróxido, en los productos de amaranto empacados en PPM.

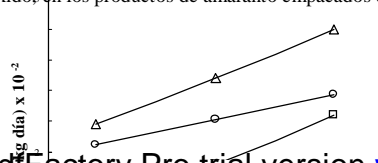


Figura 2. Razón incremental de valor de peróxido en los productos de amaranto por efecto de la temperatura.

El nivel de energía requerido para estas dos formas de deterioro no fue similar. Valores entre 43 y 65KJ/mol, correspondieron al flujo molecular por absorción de humedad y valores entre 11 y 17KJ/mol fueron atribuidos a la reacción de deterioro de los lípidos por presencia de oxígeno en el interior del empaque. La energía de activación por absorción de humedad fue estadísticamente similar en los tres productos de amaranto y significativamente diferente entre materiales de empaque. La energía de activación debida a la razón incremental de valor de peróxido fue significativamente diferente, tanto en los productos de amaranto, como por efecto del material de empaque. Aparentemente, en el cambio de energía por formación de peróxidos, fue relevante, el efecto de las características propias de los productos y los niveles iniciales de humedad y actividad de agua (Lara & Cangás 2004, Lara & Mejía 2004). En comparación con los valores reportados en Taoukis et al., (1997) y los valores más altos presentados en Almeida-Domínguez et al., (1992), la energía de activación de los productos de amaranto, debida a la absorción de humedad y valor de peróxidos fue mucho menor.

Tabla 1. Energía de activación de los productos de amaranto almacenados por 90 días a 25, 30 y 35°C (Multifactorial 3x2).

Productos*	Energía de activación (KJ/mol)	
	RIAH	RIVP
Grano reventado	56.939 a	16.625 b
Cereal	56.045 a	11.248 a
Barras	49.534 a	15.872 b
Material empaque**		
PPM	42.902 a	18.117 b
PET	65.443 b	11.046 a

RIAH Razón incremental de absorción de humedad, RIVP Razón incremental de valor de peróxido.* Promedio (n = 6), ** Promedio (n = 9). Letras diferentes en una misma columna muestra diferencias significativas, (Tukey, p < 0.05).

Correlación entre respuestas sensoriales y mediciones no sensoriales

El modelo sicofísico de potencia (Bourne 2002) o multiplicativo, Ec. (2) y el modelo lineal, Ec. (3) fueron aplicados para evaluar la relación de rancidez sensorial con valor de peróxido (Fig. 3) y crocancia sensorial con fuerza máxima de compresión (Fig. 4), respectivamente.

La correlación del puntaje de detección sensorial de rancidez y valor de peróxido varió de 0.94 a 0.97 y fue indicativo del grado de relación entre las dos variables. El R² mostró que el modelo multiplicativo explica del 89 al 95% de la variabilidad de los puntajes de detección sensorial de rancidez. El coeficiente de dependencia *b* (detección de rancidez/valor de peróxido) fue estadísticamente similar en los productos de amaranto, en materiales de empaque y fue significativamente diferente entre condiciones de almacenado (Tabla 2). Sobre las curvas de correlación se estableció que hasta 20 meq de O₂/Kg de grasa, el nivel valor de peróxido fue catalogado como «1 no rancio», únicamente, en muestras almacenadas a 25°C/50% hr. En las muestras del resto de tratamientos, el puntaje sensorial a dicho límite de valor de peróxido, fue superior a 1.5, por lo tanto equivalente a la categoría «2 poco rancio» (Figure 3).

Tabla 2. Coeficientes de la Ec. (2), estadísticos del modelo y variación del coeficiente *b* en los productos de amaranto y por efecto de las condiciones de almacenado.

Factores		Coeficientes-modelo		Estadístico	
Productos*		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>R</i> ²
Grano reventado		0.466	0.416 ab	0.977	95.39
Cereal		0.486	0.408 a	0.958	91.79
Barras		0.426	0.449 b	0.951	90.42
Condiciones*					
25°C/50% hr.		0.515	0.357 a	0.944	89.27
30°C/75% hr.		0.457	0.424 b	0.975	95.09
35°C/100% hr.		0.422	0.471 c	0.966	93.25
Empaque					
PPM		0.455	0.428 a	0.953	91.01
PET		0.459	0.424 a	0.970	94.06

* Promedio (n = 18), ** Promedio (n = 27). Letras diferentes en una misma columna muestra diferencias significativas, (Tukey, p < 0.05).

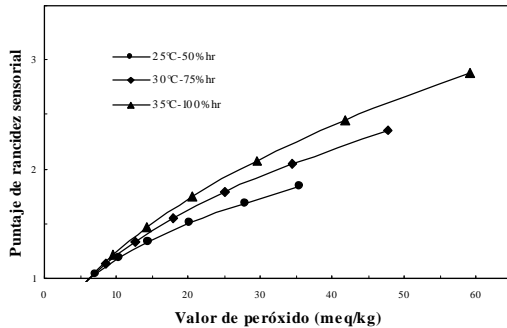


Figura 3. Validación de valor de peróxido como control de rancidez en los productos de amaranto.

La correlación y la dependencia entre la intensidad de crocancia sensorial y la fuerza máxima por compresión fueron de -0.90 a -0.95 y de 80 a 90%, respectivamente. El signo negativo mostró la relación inversa entre estas dos variables. El coeficiente de dependencia (sensorial/instrumental) resultó estadísticamente similar entre condiciones de almacenado y entre material de empaque, pero fue significativa la diferencia entre productos de amaranto (Tabla 3).

Tabla 3. Coeficientes de la Ec. (3), estadísticos del modelo y variación del coeficiente *b* en los productos de amaranto.

Factores		Coeficientes-modelo		Estadístico	
Productos*		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>r</i>	<i>R</i> ²
Grano reventado		7.051	-0.140 c	-0.90	80.73
Cereal		13.702	-0.470 a	-0.95	89.07
Barras		10.575	-0.819 b	-0.91	83.49
Condiciones*					
25°C/50% hr.		9.075	-0.275 a	-0.92	85.1
30°C/75% hr.		9.061	-0.276 a	-0.90	80.84
35°C/100% hr.		8.883	-0.265 a	-0.93	87.34
Empaque					
PPM		9.033	-0.273 a	-0.92	85.57
PET		8.931	-0.269 a	-0.91	83.28

* Promedio (n = 18), ** Promedio (n = 27). Letras diferentes en una misma columna muestra diferencias significativas, (Tukey, p < 0.05).

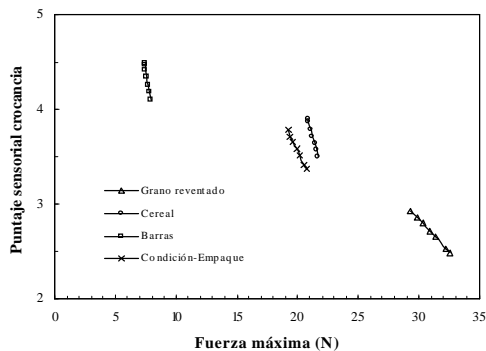


Figura 4. Validación de fuerza máxima de compresión (TA-XT2i) como control de crocancia en productos de amaranto.

La fuerza máxima de ruptura de barras crocantes, cereal para desayuno y grano reventado de amaranto, en términos de la escala sensorial, fue equivalente a las categorías descriptivas «4 muy crocante», «4 muy crocante» y «3 crocante», respectivamente (Figure 4). En grano reventado, la variación de fuerza máxima de ruptura ocasionó el descenso de la intensidad de crocancia desde «3 crocante» a «2 poco crocante». El efecto promedio de las condiciones de almacenamiento y material de empaque mostró el descenso de la intensidad de crocancia de «4 muy crocante» a «3 crocante».

CONCLUSIONES

La energía de activación por absorción de humedad varía en los productos de amaranto debido al material de empaque. La energía de activación por valor de peróxido varía por efecto del material de empaque y entre productos de amaranto. El valor de peróxido y la fuerza máxima de compresión pueden ser utilizados como parámetros de control de rancidez y crocancia, respectivamente en las pruebas de tiempo de vida útil de productos de grano reventado de amaranto.

AGRADECIMIENTOS

Internacional Foundation for Science, Stockholm, Sweden, Fundación Nacional de Ciencia y Tecnología, y Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, Quito, Ecuador.

REFERENCIAS.

- Al-Ismaïl K., Herzallah S.M. & Humied M. (2007) Food Sci Tech. 40: 454-459.
- Barrett A.H., Rosenberg S. & Ross E. (1994) J. Food Sci. 59:617-620.
- Bourne M. (2002). Food texture and viscosity concept and measurement (2nd ed., pp. 293-323). New York.
- Chavez-Jáuregui R.N., Cardoso-Santiago R.A., Pinto e Silva M.E. & Arêas J.A.G. (2003) Int. J. Food Sci. Tech. 38:795-798
- Gamel T.H., Linsen J.P., Messalleem A.S., Damir A.A. & Shekib L. (2005) J. Sci. Food Agric 85:319-327.
- Gamel T.H., Linsen J.P., Messalleem A.S., Damir A.A. & Shekib L. (2006a) J. Sci. Food Agric 86:82-89.
- González R., Carra C., Tosi E., Añon M.C. & Pilosof A. (2007) Food Sci. Tech. 40:136-143
- Iyota H., Konishi Y., Inoue T., Yoshida K., Nishimura N., & Nomura T. (2005) Drying Tech. 23:1273-1287.
- Lara N. & Ruales J. (2002) J. Sci. Food Agric. 82:797-805.
- Lara N. & Ruales J. (1999a). Effect of popping process on the characteristics of amaranth starch (*Amaranthus caudatus*), Manuscript.
- Lara N. & Ruales J. (1999b). Effect of popping processing on the chemical composition and the nutritional quality of amaranth grain (*Amaranthus caudatus*), Manuscript.
- Lara N. (1999). Utilization of popped amaranth grain (*Amaranthus caudatus*) as an ingredient in food, Manuscript.
- Lara N. & Cangás A. (2004). Moisture sorption isotherm of popped amaranth grain-based products, Manuscript.
- Lara N. & Mejía A. (2004a). Kinetics of deterioration and shelf life of popped grain, breakfast cereal and crunchy bars of amaranth. Manuscript.
- Lee C.M. & Resurreccion A.V.A. (2006) Food Sci. Tech. 39:872-882.
- Neilson A.P., Pahulu H.F., Ogden L.V. & Pike O.A. (200) J. Food Sci. 71:S461-S466.
- Lucas T., Le Ray D. & Mariette F. (2007) J. Food Eng. 80 :377-384
- Martínez-Tome M., Murcia M., Frega N., Ruggieri S., Jiménez A., Roses F. & Parras P. (2004) J. Agric. Food Chem. 52:4690-4699.
- Roberson G.L. (1992) Food Packaging, Principles and Practice; Marcel Dekker Inc.: New York; 1993; pp. 550-586
- Schenztzler K.A. & Breene W.M. (1994) Food uses and amaranth products research: a comprehensive review. Paredes-López O. (ed) Amaranth: Biology, Chemistry, and Technology. CRC Press, 155-183.
- Speigel A. (1992) Shelf Life Testing. In Plastic in Food Package, Properties Design and Fabrication; Brown, W., Ed.; Marcel Dekker Inc.: New York, 1992; pp. 358-396.
- Taoukis P., Labuza T.P., & Sagy S. (1997) Kinetics of Food Deterioration and Shelf Life Prediction. In Food Engineering Handbook; Sagy, S., Rotstein, K., Eds.; CRC Press Inc.: Dember, Colorado, 1997; pp. 361-403.
- Zapotoczny P., Markowski M., Majewska K., Ratajski A., & Konopko H. (2006) J. Food Eng. 76:469-476.