



Nuevo método para determinar vida útil sensorial utilizando lógica difusa: caso corazones de alcachofa (*Cynara scolymus L.*) marinadas en conserva

New method for determining sensory shelf life using fuzzy logic: canned marinated artichoke hearts (*Cynara scolymus L.*) case

Víctor Vásquez-Villalobos^{*}; Julia Vásquez Angulo; Eduardo Méndez Reyna

Instituto Regional de Investigación Agraria. Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n, Trujillo, Perú.

Recibido 15 noviembre 2014. Aceptado 05 abril 2015.

Resumen

Se modeló por lógica difusa (LD) la preferencia sensorial (ps) y la vida útil de aceptabilidad sensorial (VUAS) por pruebas aceleradas de corazones de alcachofa en conserva, marinadas en aceite de sachá inchi (*Plukenetia volubilis*), soja (*Glycine max*) y oliva (*Olea europea*); las que fueron evaluadas por una prueba Ranking, utilizando un panel semi-entrenado, para conocer la mayor preferencia tanto para sabor (s) como para la limpidez (l). Asimismo se evaluó la ps global utilizando operaciones difusas de intersección (AND) y unión (OR) del s y la l ; empleando funciones de pertenencia triangular, con el método de Mamdani para la defuzzificación con 25 reglas lingüísticas. La intersección presentó el mejor desempeño para el modelamiento, obteniéndose el mejor valor de ps de 3,30 para el tratamiento con aceites de sachá inchi (50%), oliva (25%) y soja (25%) ($p \ll 0,05$); la cual fue sometida a pruebas aceleradas a 37 °C, 49 °C, 55 °C y evaluadas de acuerdo a su aceptabilidad sensorial mediante una prueba de escala no estructurada en cuanto al s y l . Se determinó la VUAS por pruebas aceleradas con LD a través de la operación difusa de intersección del s y l , funciones de pertenencia triangular, e igualmente 25 reglas lingüísticas. Se determinó una VUAS a 20 °C para una AS "alta" de 296 días y para una AS entre "alta e inicio de una AS media" de 569 días. Ambos valores fueron menores que el tiempo de 892 días determinado por pruebas aceleradas en las conservas, utilizando el índice de peróxido.

Palabras clave: Modelamiento, lógica difusa, preferencia sensorial, aceptabilidad sensorial, alcachofa.

Abstract

The sensory preference (sp) and shelf life of sensory acceptability (SLSA) of canned artichoke hearts were modeled using fuzzy logic (FL) and accelerated testing. The artichoke hearts were marinated in oil of sachá inchi (*Plukenetia volubilis*), soybean (*Glycine max*) and olive (*Olea europea*); and evaluated using a Ranking test with a semi-trained panel, to identify the best preference both for flavor (f) and limpidity (l). We evaluated a global sp through intersection (AND) and union (OR) fuzzy operations of f and l , using functions of triangular membership with the Mamdani method for defuzzification through 25 linguistic rules. The intersection showed the best modeling performance, with the highest sp value at 3.30 for the treatment with sachá inchi (50%), olive (25%) and soybean (25%) ($p \ll 0.05$) oil, which was subjected to accelerated testing at 37 °C, 49 °C, 55 °C and evaluated according to their sensory acceptability (SA) through an unstructured scale test in terms of f and l . The SLSA was determined using accelerated testing with FL through intersection fuzzy operation of f and l , triangular membership functions for f and l , and also 25 linguistic rules. A SLSA at 20 °C was determined for a "high" SA of 296 days, and 569 days for a SA between "high and beginning of medium SA". Both values were lower than the 892 days' time determined by accelerated testing when evaluating the peroxide index in canned products.

Keywords: Modeling, fuzzy logic, sensory preference, sensory acceptability, artichoke.

1. Introducción

El análisis sensorial es una ciencia interdisciplinaria a través del cual los

panelistas utilizando complejas interacciones de los sentidos, pueden determinar la preferencia o aceptabilidad de los

^{*} Autor para correspondencia

E-mail: vvasquez@unitru.edu.pe (Víctor Vásquez-Villalobos)

productos. Su evaluación está basada en respuesta a estímulos cuyas sensaciones son: intensidad, magnitud, duración, calidad, placer o descontento. Los estímulos pueden ser cuantificados por métodos físico-químicos y las sensaciones por procesos psicológicos (Cavalcanti *et al.*, 2013). La evaluación es realizada por medio de los órganos sensoriales, obteniéndose información que es generalmente vaga e imprecisa y dependiendo de los sentidos y conocimiento sobre las características evaluadas, puede ser distinta. En este sentido uno de los grandes problemas asociados al análisis sensorial, es conseguir que la respuesta humana sea precisa y se pueda determinar cuantitativamente (Martínez, 2007). Espinilla *et al.* (2008) manifiestan que este problema puede mejorarse modelando la información sensorial de forma cualitativa mediante etiquetas lingüísticas, la que ha producido buenos resultados a la hora de modelar la información cualitativa en diversos campos de aplicación. Folorunso *et al.* (2009) sostienen que la predicción de la aceptabilidad de un producto, es a menudo un efecto aditivo de impresiones difusas individuales desarrolladas por el consumidor, sobre la base de ciertos atributos subyacentes característicos del producto. En este sentido sostienen que la lógica difusa (LD) es una herramienta importante, que ha encontrado amplia aplicación en el estudio de varios sistemas físicos y biológicos, debido a que teóricamente trata sobre fenómenos matemáticamente inciertos, con un grado de ambigüedad en el pensamiento humano, relacionándolo con datos cuantitativos. Por esta razón el análisis sensorial de un producto alimenticio es ciertamente una tarea ambigua, debido a diferencias en la percepción individual de los panelistas en los atributos del producto. Consideran tres principales ventajas en el uso de LD. En primer lugar, el sistema no es modelado usando construcciones matemáticas complicadas. En segundo lugar utiliza la

experiencia del experto; en este sentido el análisis sensorial de un sistema alimentario, en forma de lenguaje natural, fácilmente puede ser codificado como reglas difusas para describir el comportamiento global del sistema. Finalmente, el comportamiento del sistema, puede ser fácil y rápidamente implementado y afinado. Consecuentemente, futuras modificaciones de un producto pueden ser obtenidas fácilmente.

Zadeh (1965) fue el primero en divulgar la novedosa forma de caracterizar incertidumbres no probabilísticas, al cual le llamó lógica difusa (LD), que encarna la naturaleza de la mente del ser humano y la cual contrasta con la tradicional lógica booleana. Un sistema difuso, se basa en un conjunto difuso, pertenencia o membresía difusa y variables difusas. El sistema consta de un fuzificador, una base de conocimiento (reglas de base), un motor de inferencia y un defuzificador. La base del conocimiento es una colección de reglas difusas “si-entonces”. El término LD denota un enfoque de modelado, donde se describen las dependencias funcionales entre las variables de entrada y salidas, mediante el conjunto de reglas y siguiendo el razonamiento con los operadores de intersección (AND), unión (OR) y negación (NOT). El dominio de los valores de entrada y salida se subdividen en conjuntos difusos de acuerdo a estimaciones razonablemente tecnológicas. La fuzificación significa que el grado de membresía de un determinado valor de entrada al conjunto difuso es calculado (Inan *et al.*, 2011).

Lanzillotti y Lanzillotti (2009), han manifestado que desde los años 90, la LD ha tenido aplicaciones en teoría de las decisiones, sistemas de control y la delimitación de los perfiles del comportamiento de sistemas operativos; especialmente en las áreas de ingeniería eléctrica, inteligencia artificial, planificación estratégica y; más recientemente, en ciencias de la información. Asimismo sostienen que la

metodología de la LD permite trabajar la ambigüedad, abriendo una perspectiva de una estructura alternativa cuantitativa, que reemplaza la lógica aristotélica excluyente (es o no es) por la lógica de Bertrand Russell; en la que afirmaciones vagas, pueden tener valores relevantes entre los valores de cero y 1. En este paradigma, los extremos representan la ausencia y la plenitud de la pertinencia, respectivamente. Routray y Mishra (2012) manifiestan que las evaluaciones en cualquier campo son generalmente de acuerdo al conocimiento, adquiridos mediante los sentidos humanos (vista, gusto, tacto, olfato y audición) y en evaluación sensorial, el modelado y la gestión del conocimiento en el proceso de evaluación es incierto; lo cual constituye un problema, debido a que la información adquirida por los sentidos humanos siempre implica incertidumbre e imprecisión. Los datos sensoriales como color, sabor, gusto y sabor se obtienen generalmente a través de evaluaciones subjetivas, los cuales generalmente son analizados estadísticamente; considerando que no es posible encontrar la fuerza y la debilidad de un atributo sensorial específico, responsable de aceptación o rechazo de cualquier producto alimenticio. Sostienen asimismo que la implementación difusa en el control de calidad de alimentos para la industria alimentaria, ha sido el foco de diferentes investigadores que han diseñado aplicaciones específicas para esta tarea, donde el proceso de razonamiento es expresado en términos lingüísticos de operadores y expertos. Mencionan adicionalmente que la aplicación del análisis de decisión lingüística para la evaluación sensorial, puede utilizarse para modelar y gestionar sistemáticamente la incertidumbre y la imprecisión de la información en este tipo de problema. Consideran a la LD como una herramienta importante de toma de decisiones, para comparar un producto desarrollado con productos similares disponibles en el mercado, el cual puede utilizarse para averiguar las razones y alto ranking de productos evaluados por los

jueces y para determinar la importancia de los factores individuales en la calidad general de un producto, donde los factores más importantes para un mercado en particular pueden ser identificados y mejorados, lo que contribuye al desarrollo y la mejora de productos. Mukhopadhyay *et al.* (2013) por otro lado y concordando con otros investigadores, manifiestan que la percepción humana es siempre difusa y la opinión de los evaluadores es lingüística. Por lo que resulta más realista llevar a cabo evaluaciones usando variables lingüísticas en lugar de valores numéricos. De acuerdo a Ávila de Hernández y González-Torrivilla (2011) la aplicación de los conceptos difusos en el área de la evaluación sensorial es relativamente reciente. Mencionan que los usos de la LD en el control de la calidad en los alimentos, se da en tres áreas: (i) en la representación de la evaluación sensorial realizada por un equipo, operador o consumidor; (ii) en la medida indirecta de las propiedades en los alimentos y (iii) en el diagnóstico, la supervisión y el control de la calidad. El razonamiento difuso ha sido aplicado a la evaluación sensorial de paneles, así como al control de calidad relacionados al proceso de alimentos y aspectos sensoriales. Las respuestas correspondientes a atributos sensoriales como el aspecto, sabor y firmeza, pueden ser transformadas a conjuntos difusos y manipuladas de acuerdo a la matemática difusa o borrosa (Mohammadi *et al.*, 2011). En este sentido Jaya y Das (2003) han reportado a la LD como una herramienta útil para el análisis sensorial de bebida de mango, así como Lazim y Suriani (2009) en café. Lanzillotti y Lanzillotti (2009) realizaron un procedimiento de verificación de la aplicabilidad de la LD, para la toma de decisión de la aceptabilidad de jalea de cáscara de banana y dulce del interior de la corteza de sandía, utilizando pruebas hedónicas al análisis sensorial. Concluyeron que la adopción de sistemática difusa, es una herramienta útil para flexibilizar procedimientos en análisis sensorial. Sostienen que el énfasis en las

posibilidades de un uso más generalizado, está en la ventaja de su aplicación a muestras reducidas de carácter no aleatorio y más ajustable a las circunstancias en las cuales opera una alimentación colectiva. La sistemática puede autorizar o no el lanzamiento de nuevos productos o la mejora de los procesos productivos, mostrando a través de un proceso decisorio, la viabilidad de la aceptabilidad de estos. Consideran la metodología más holística, ya que valoriza el lenguaje natural inherente a las pruebas hedónicas. Folorunso *et al.* (2009) han presentado sobre la base de datos, el desarrollo de un enfoque basado en reglas difusas para predecir la aceptabilidad general sensorial de pan de trigo con yuca. Los resultados obtenidos los compararon con el juzgamiento humano, sugiriendo que este enfoque facilita una mejor aceptación del pan. Mohammadi *et al.* (2011) desarrollaron un enfoque basados en reglas difusas para predecir la aceptabilidad sensorial general de mermelada de pistacho verde. Los resultados obtenidos fueron comparados con discreciones humanas. Consideraron que la aplicación de este enfoque facilita una mejor aceptabilidad de la mermelada. Ávila-de Hernández y González-Torrivilla (2011) aplicaron la LD en la evaluación sensorial, y determinaron la aceptabilidad de una bebida a base de piña, empleando una serie de pruebas afectivas y datos instrumentales. Los resultados mostraron que es posible predecir la aceptación de la bebida mediante el sistema de LD con una exactitud comparable a la exhibida por los evaluadores humanos. Routray y Mishra (2012) analizaron las puntuaciones sensoriales de diversas muestras de yogurt y las clasificaron según sus cualidades sensoriales, utilizando análisis difuso. Cavalcanti *et al.* (2013) han propuesto una discusión sobre el uso de la LD en la aceptación sensorial, a partir de la opinión de panelistas en relación a pan enriquecido con almendras y proteína de *Cnidoscylus phyllacanthus* (Mart.) Pax. et K. Hoffm.,

observando que el método difuso desarrollado fue fácil de usar, donde el usuario del sistema sólo debe encontrar la curva del centro de gravedad (CG) con mayor valor final, para indicar la muestra de mayor aceptación; pudiendo utilizar las derivadas de las curvas CG, como auxilio para la detección de la mejor opción en algunas situaciones donde existan dudas, además de poder utilizarse conjuntamente con algún método estadístico. Zolfaghari *et al.* (2014) propusieron un modelo de regresión lineal difuso para analizar los datos de evaluación sensorial de rosquillas fritas. Los resultados mostraron que parámetros simétricos difusos proporcionan el mejor ajuste de datos sensoriales, así como concluyeron que el método fue el más eficiente y apropiado que los métodos estadísticos clásicos, en el modelamiento de los datos sensoriales. Es así que en la presente investigación se tuvo como objetivo modelar por LD la preferencia sensorial (*ps*) y la aceptabilidad sensorial (AS) de corazones de alcachofa marinadas en conserva por pruebas aceleradas y predecir la vida útil de la AS.

2. Material y métodos

Se utilizaron corazones de alcachofa variedad Imperial Star provenientes del Valle de Majes de la región Arequipa-Perú, aceite de sacha inchi (*Plukenetia volubilis*) marca Industrias Amazónicas, aceite de soya (*Glycine max*) marca Aceite SAO, aceite de oliva extravirgen (*Olea europea*) marca Olivos del Sur, especias (Italian season y paprika), frascos de vidrio de 250 mL, vinagre blanco grado alimenticio marca Copeagro al 10% (pH: 2,4), autoclave horizontal de 17 m³ marca Fravil y Matlab 7,0. Los corazones de alcachofa diámetro 6,55±2,05 cm fueron cortados en cuatro partes simétricas, escaldadas en una solución con vinagre (pH 3,15±0,35) por 10 minutos, a una temperatura de 87,5 ±3,5°C. Después de colocarse en los envases se adicionó 20 mL de aceite vegetal con 0,35 g de especias, asegurándose un peso de

117,5±3,5 g; luego se agregó líquido de gobierno (agua: 83%, vinagre: 15% y sal: 2%) a una temperatura de 87,5±3,5°. La adición del aceite vegetal fue de cinco proporciones (mL) con: sachá inchi (SI), aceite de soya (S) y aceite de oliva (O), de acuerdo a T1 (SI:15, S:5, O:5), T2 (SI:10, S:10, O:5), T3 (SI:10, S:5, O:5), T4 (SI:5, S:15, O:5), T5 (SI:2, S:12, O:6). Las conservas se pasteurizaron a 100°C por 15 minutos, tomando como referencia al *Clostridium pasteurianum*, y se almacenaron a 22 °C y 65% de humedad relativa durante 10 días.

Análisis sensorial por la prueba de Ordenamiento o Ranking: Se realizó por un panel semi-entrenado de 15 personas, para conocer la mayor preferencia tanto para sabor (*s*) del producto como de la limpidez del líquido de gobierno (*l*). Las muestras fueron ordenadas de acuerdo a su preferencia, de menor a mayor (escala de 1 al 5). Los panelistas fueron previamente capacitados por la Empresa Roncasa E.I.R.L. la cual brinda servicios de capacitación y consultoría en la industria de alimentos y bebidas, en el campo de la saborización de alimentos procesados.

Evaluación de la preferencia sensorial (*ps*) con LD: Se utilizó la interface gráfica del *Fuzzy Logic Toolbox* de Matlab. La *ps* fue evaluada a través por dos operaciones difusas de intersección (AND) y unión (OR) del *s* y *l* respectivamente. Se aplicó funciones de pertenencia triangular en todos los casos, utilizándose el método de *Mamdani* para la defuzificación. Según Amelia (2012) los modelos expertos difusos utilizan el enfoque *Mamdani*, señalando que en comparación con el modelo Takagi-Sugeno-Kang, el enfoque *Mamdani* es mejor para descubrir el conocimiento humano comprensible.

Las funciones de pertenencia para el *s* fue: desagradable (0; 0; 1,25), poco desagradable (0; 1,25; 2,5), no agradable/ni desagradable (1,25; 2,5; 3,75), poco agradable (2,5; 3,75; 5), agradable (3,75; 5; 5); para la *l* fueron: turbia (0; 0; 1,25), casi turbia (0; 1,25; 2,5), turbia/transparente (1,25;

2,5; 3,75), casi transparente (2,5; 3,75; 5), transparente (3,75; 5; 5); y para la *ps* fue: muy baja (0; 0; 1,25), baja (0; 1,25; 2,5), media (1,25; 2,5; 3,75), alta (2,5; 3,75; 5), muy alta (3,75; 5; 5). La defuzificación de la *ps* se realizó a través de 25 reglas lingüísticas (Tabla 1).

Estimación de vida útil de la aceptabilidad sensorial (VUAS) por pruebas aceleradas: La conserva con mayor *ps* fue sometida a tres temperaturas: 37 °C, 49 °C, 55 °C y evaluadas de acuerdo a su aceptabilidad sensorial (AS) mediante una prueba de escala no estructurada (ENE) en cuanto al *s*, en una escala de “me desagrada” a “me agrada” (0 a 10) y en cuanto a *l* desde una escala de “turbia” a “transparente” (0 a 10). Para esta evaluación participaron los mismos panelistas semi-entrenados.

Estimación de VUAS por pruebas aceleradas con LD: Se evaluó con la operación difusa de intersección (AND) el *s* y la *l* respectivamente, utilizándose un universo del discurso 0 a 10, con funciones de pertenencia triangular para *s* y *l*. Las funciones de pertenencia para el *s* fue: desagradable (0; 0; 2,5), poco desagradable (0; 2,5; 5), no agradable/ni desagradable (2,5; 5; 7,5), poco agradable (5; 7,5; 10), agradable (7,5; 10; 10). Para la *l* fueron: turbia (0; 0; 2,5), casi turbia (0; 2,5; 5), turbia/transparente (2,5; 5; 7,5), casi transparente (5; 7,5; 10), transparente (7,5; 10; 10).

Para la AS la función de pertenencia fue igualmente triangular, con un universo del discurso de 0 a 5 de acuerdo a: muy baja (0; 0; 1,25), baja (0; 1,25; 2,5), media (1,25; 2,5; 3,75), alta (2,5; 3,75; 5), muy alta (3,75; 5; 5). La defuzificación de la AS se realizó igualmente a través de 25 reglas lingüísticas, similares a las mostradas en la Tabla 1, cambiando el consecuente de *ps* por AS. Posteriormente la AS se ajustó en función del tiempo a una cinética de orden cero cuyas ecuaciones sirvieron para determinar la VUAS.

Tabla 1Características de las reglas difusas para la evaluación de la preferencia sensorial (*ps*) de conservas de alcachofa

Nº	Antecedente	Interrelación	Consecuente
1	Si la limpidez es turbia y el sabor es desagradable	entonces	la preferencia sensorial es muy baja
2	Si la limpidez es turbia y el sabor es poco desagradable	entonces	la preferencia sensorial es muy baja
3	Si la limpidez es turbia y el sabor es no agradable/ni desagradable	entonces	la preferencia sensorial es baja
4	Si la limpidez es turbia y el sabor es poco agradable	entonces	la preferencia sensorial es baja
5	Si la limpidez es turbia y el sabor es agradable	entonces	la preferencia sensorial es media
6	Si la limpidez es casi turbia y el sabor es desagradable	entonces	la preferencia sensorial es muy baja
7	Si la limpidez es casi turbia y el sabor es poco desagradable	entonces	la preferencia sensorial es baja
8	Si la limpidez es casi turbia y el sabor es no agradable/ni desagradable	entonces	la preferencia sensorial es baja
9	Si la limpidez es casi turbia y el sabor es poco agradable	entonces	la preferencia sensorial es baja
10	Si la limpidez es casi turbia y el sabor es agradable	entonces	la preferencia sensorial es media
11	Si la limpidez es turbia/transparente y el sabor es desagradable	entonces	la preferencia sensorial es muy baja
12	Si la limpidez es turbia/transparente y el sabor es poco desagradable	entonces	la preferencia sensorial es baja
13	Si la limpidez es turbia/ transparente y el sabor es no agradable/ni desagradable	entonces	la preferencia sensorial es media
14	Si la limpidez es turbia/ transparente y el sabor es poco agradable	entonces	la preferencia sensorial es media
15	Si la limpidez es turbia/ transparente y el sabor es agradable	entonces	la preferencia sensorial es media
16	Si limpidez es casi transparente y el sabor es desagradable	entonces	la preferencia sensorial es muy baja
17	Si la limpidez es casi transparente y el sabor es poco desagradable	entonces	la preferencia sensorial es baja
18	Si la limpidez es casi transparente y el sabor es no agradable/ni desagradable	entonces	la preferencia sensorial es media
19	Si la limpidez es casi transparente y el sabor es poco agradable	entonces	la preferencia sensorial es alta
20	Si la limpidez es casi transparente y el sabor es agradable	entonces	la preferencia sensorial es alta
21	Si la limpidez es transparente y el sabor es desagradable	entonces	la preferencia sensorial es muy baja
22	Si la limpidez es transparente y el sabor es poco desagradable	entonces	la preferencia sensorial es baja
23	Si la limpidez es transparente y el sabor es no agradable/ni desagradable	entonces	la preferencia sensorial es media
24	Si la limpidez es transparente y el sabor es poco agradable	entonces	la preferencia sensorial es alta
25	Si la limpidez es transparente y el sabor es agradable	entonces	la preferencia sensorial es muy alta

Para lo cual se determinó a partir del conjunto difuso AS con funciones de pertenencia triangulares, una aceptabilidad “alta” y otra “entre alta e inicio de

aceptabilidad media”, la que permitió obtener en escala logarítmica, el tiempo medio de regresión de la VU para cada temperatura, con sus intervalos de confian-

za de 95% superior e inferior, utilizando (Montgomery y Runger, 2012):

$$\hat{Y}_0 \pm t(v, 1 - \alpha/2) \left\{ \frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right\}^{1/2} s$$

Dónde:

- \hat{Y}_0 : Punto ubicado dentro de la línea promedio a un valor dado de la ordenada (y)
- $t(v, 1 - \alpha/2)$: Distribución t de student 2 colas
- s : Error típico

3. Resultados y discusión

Análisis sensorial

En la Tabla 2 se observa las calificaciones de los panelistas para la prueba Ranking con respecto a la limpidez (*l*) y sabor (*s*), así como los resultados obtenidos para la preferencia sensorial (*ps*) empleando la intersección difusa (*ps*[∧]) y unión difusa (*ps*[∨]). El Test de Ordenamiento o Ranking es un método de respuesta subjetiva, que permite seleccionar las mejores muestras, sin proporcionar información analítica sobre ellas y constituye un excelente pre-

entrenamiento para los panelistas (Wittig de Penna, 2001).

Según Abdullah y Amad (2011) es Test Ranking es uno de los métodos de evaluación ampliamente utilizado para decidir el mejor alimento disponible en el mercado competitivo de hoy. Sin embargo, no es siempre un proceso directo, especialmente cuando se trata con lingüística difusa de evaluación múltia-tributos. Singh *et al.* (2012) reportan análisis difusos a partir de atributos sensoriales, utilizando datos lingüísticos obtenidos por evaluación sensorial, utilizando la prueba Ranking con función difusa de distribución de membresía triangular. De acuerdo a lo mostrado en la Tabla 2, la intersección difusa (∧) mostró el mejor desempeño para el modelamiento, obteniéndose el mayor valor de *ps*[∧] de 3,30 para el tratamiento T3 (*p*<<0,05) (conserva con 50% de sachá inchi, 25% de aceite de oliva y 25% de aceite de soya), el que coincidentemente muestra el mayor valor en la prueba Ranking, de manera independiente para la *l* y *s*, con un promedio de 4,27 y 3,93 respectivamente (Rojas *et al.*, 2011).

Tabla 2

Evaluación de los panelistas por la prueba Ranking de la limpidez (*l*) y sabor (*s*) de conservas de alcachofa y determinación de la preferencia sensorial por intersección difusa (*ps*[∧]) y unión difusa (*ps*[∨])

Panelistas	T1				T2				T3				T4				T5			
	Ranking		LD		Ranking		LD		Ranking		LD		Ranking		LD		Ranking		LD	
	<i>l</i>	<i>s</i>	<i>ps</i> [∧]	<i>ps</i> [∨]	<i>l</i>	<i>s</i>	<i>ps</i> [∧]	<i>ps</i> [∨]	<i>l</i>	<i>s</i>	<i>ps</i> [∧]	<i>ps</i> [∨]	<i>l</i>	<i>s</i>	<i>ps</i> [∧]	<i>ps</i> [∨]	<i>l</i>	<i>s</i>	<i>ps</i> [∧]	<i>ps</i> [∨]
1	4	1	1,22	2,30	2	3	1,98	2,17	5	5	4,6	2,50	3	2	1,98	2,17	1	4	1,55	2,31
2	1	1	1,22	1,66	4	4	3,78	2,31	3	2	1,98	2,17	5	3	3,02	2,50	2	5	2,50	2,65
3	3	1	1,22	2,06	5	4	3,78	2,50	4	5	3,78	2,54	2	2	1,98	1,69	1	3	1,25	2,09
4	3	3	3,02	2,16	4	4	3,78	2,31	5	5	4,60	2,50	1	2	1,22	1,66	2	1	1,22	1,60
5	2	1	1,22	1,60	3	5	3,02	2,65	5	2	1,98	2,50	1	3	1,25	2,09	4	4	3,78	2,31
6	2	2	1,98	1,69	3	3	3,02	2,17	5	1	1,22	2,50	4	5	3,78	2,54	1	4	1,55	2,31
7	3	1	1,22	2,06	2	3	1,98	2,17	5	5	4,60	2,50	4	4	3,78	2,31	1	2	1,22	1,66
8	4	2	1,98	2,31	3	4	3,02	2,36	5	5	4,60	2,50	2	1	1,22	1,60	1	3	1,25	2,09
9	2	3	1,98	2,17	3	4	3,02	2,36	4	5	3,78	2,54	5	1	1,22	2,50	1	2	1,22	1,66
10	3	4	3,02	2,36	4	3	3,02	2,31	4	5	3,78	2,54	2	2	1,98	1,69	1	1	1,22	1,66
11	3	2	1,98	2,17	2	3	1,98	2,17	4	5	3,78	2,54	5	1	1,22	2,50	1	4	1,55	2,31
12	1	1	1,22	1,66	3	3	3,02	2,17	4	2	1,98	2,31	5	5	4,60	2,50	2	4	1,98	2,36
13	1	2	1,22	1,66	2	4	1,98	2,36	4	5	3,78	2,54	5	3	3,02	2,50	3	1	1,22	2,06
14	3	1	1,22	2,06	5	5	4,60	2,50	2	4	1,98	2,36	1	3	1,25	2,09	4	2	1,98	2,31
15	4	1	1,22	2,31	3	5	3,02	2,65	5	3	3,02	2,50	1	4	1,55	2,31	2	2	1,98	1,70
Promedio	2,6	1,73	1,66	2,02	3,2	3,8	3,00	2,34	4,27	3,93	3,30	2,47	3,07	2,73	2,20	2,18	1,8	2,8	1,70	2,07

Con la unión difusa (\cup) se obtuvo un valor menor de ps_{\cup} de 2,47 para el tratamiento T3, comparado con los resultados obtenidos con la intersección difusa. En la Figura 1 se observa la superficie de las zonas donde se visualizan la interacción de intersección difusa de sabor (s) y limpidez (l) en la preferencia sensorial (ps) de las conservas de alcachofa. El color amarillo indica las zonas donde se encuentra distribuida los mayores valores de ps . Notándose que la intersección difusa (\cap) permite focalizar la ps a valores mayores a tres (3,0) para la interacción sabor (s) limpidez (l). Para el caso de unión difusa (\cup) los valores de ps muestran una mayor amplitud para la interacción s y l , por lo que aplicación es limitativa para precisar los mayores valores de ps .

Estimación de VUAS por pruebas aceleradas empleando LD:

En la Figura 2 se muestra los resultados de la AS ajustadas a una cinética de orden cero, obteniéndose valores de R^2 de 0,9719; 0,8525 y 0,878 para las temperatura de 37°C, 49°C, 55°C respectivamente. Las evaluaciones se detuvieron después de sobrepasar el límite del contenido del índice de peróxido (IP) de 15 meq de O_2 activo/kg de aceite (Rojas *et al.*, 2011). Los datos obtenidos partieron de una evaluación de AS de un Test de Panel Piloto utilizando una Escala No Estructurada (ENE) para indicar una probable reacción del consumidor frente a un nuevo producto. En la ENE el juez expresa la intensidad del atributo percibido entre dos extremos, la asignación de la intensidad queda a criterio de la persona con un determinado valor (Grándes, 2008), por lo que no es expresada dentro de un rango de valoración sino como un valor puntual. Según Mohammadi *et al.* (2011) las formas convencionales de cuantificar y analizar las respuestas sensoriales no son confiables, debido a que los supuestos subyacentes son irrazonables e inverificables.

Debido a que el razonamiento y pensamiento humano son naturalmente

borrosos, se ha aplicado el concepto de conjunto difuso por un número de investigadores en realización y análisis de las evaluaciones sensoriales humanas.

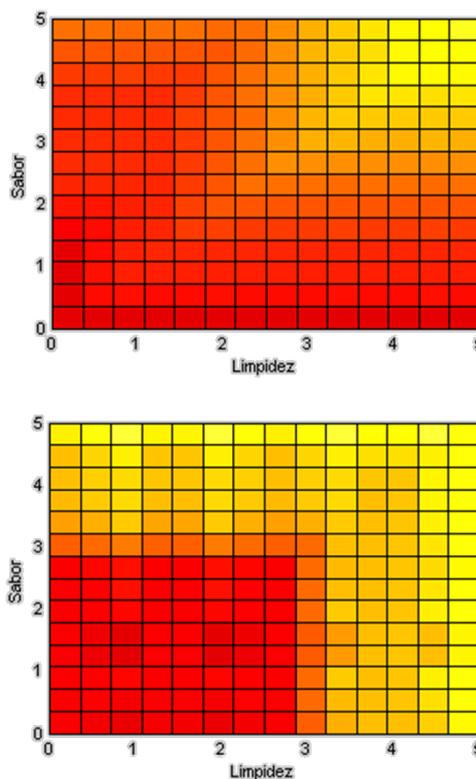


Figura 1. Zonas de focalización de la mayor preferencia sensorial -color amarillo- (superior) intersección difusa, (inferior) unión difusa.

Los conjuntos difusos no se limitan a un valor determinista, así pueden tener un mérito en la evaluación sensorial, porque las expresiones humanas en sentimiento para los alimentos, son más difusos que deterministas.

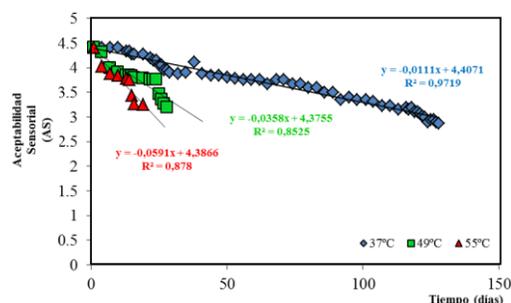


Figura 2. Cinética de orden cero de la Aceptabilidad Sensorial (AS) en pruebas aceleradas en corazones de alcachofa marinados en conserva.

Los conjuntos difusos proporcionan los métodos matemáticos que pueden representar la incertidumbre de la expresión de los seres humanos. Las relaciones de los conjuntos difusos son analizadas matemáticamente por razonamiento difuso.

Para un valor máximo de AS de 3,75 dentro del conjunto difuso de AS “alta” (Figura 3), se determinó un valor de vida útil de aceptación sensorial (VUAS) media a 20°C de 296 días, para un valor de AS de 3,125 en un conjunto difuso entre “alta e inicio de una AS media” el valor de VUAS promedio a 20°C fue de 569 días (Tabla 3). Ambos valores fueron menores que el tiempo promedio determinado para corazones de alcachofa marinados en conserva, evaluando el IP, que fue de 892 días (Rojas, *et al.*, 2011). Sin embargo considerando intervalos de confianza superior e inferior de 95% (Figura 4 a y b),

se puede llegar a valores de 1778 días (4,9 años) y 49 días respectivamente para una VUAS “alta”. Para una VUAS “alta e inicio de una AS media” a valores de 2584 días (7 años) y 125 días respectivamente. Aspectos que deberán ser dilucidados en pruebas en un tiempo real para confirmar la validez de las estimaciones dentro de un contexto de intervalos de confianza, en cuanto a la VUAS. Al respecto Ávila-de Hernández y González-Torrevilla (2011) sostienen que los productos que se destinan a la alimentación deben cumplir parámetros de calidad microbiológicos, físicos y nutricionales. Sin embargo, el cumplimiento de estos aspectos no es suficiente. Su calidad no estará plenamente definida si a esas características no se le suman las organolépticas, y es allí donde la aceptación de un producto es un factor de decisión muy importante.

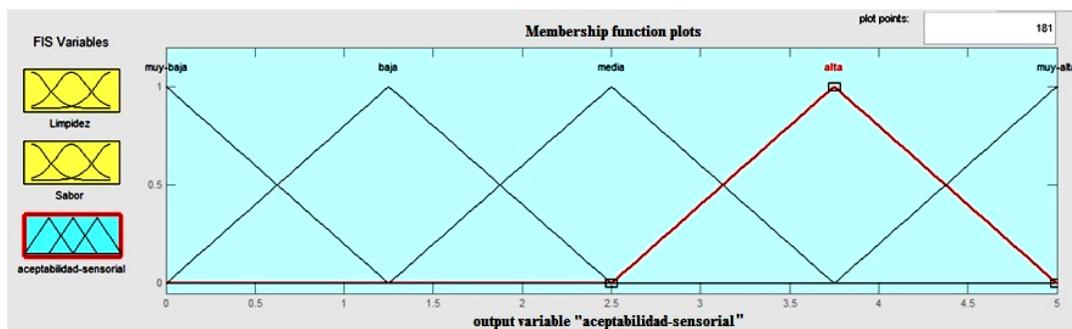


Figura 3. Conjunto difuso aceptabilidad sensorial (AS) con funciones de pertenencia triangulares.

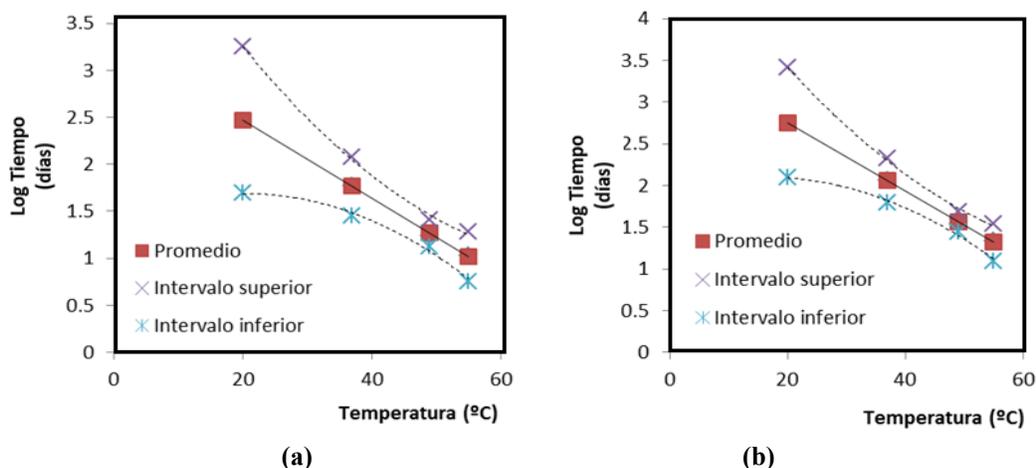


Figura 4. Intervalos de confianza de (a) aceptabilidad sensorial “alta” y (b) aceptabilidad sensorial entre “alta e inicio de una AS media”.

Tabla 3

Intervalos de confianza superior e inferior de la vida útil media para aceptabilidades sensoriales “alta” y entre “alta e inicio de una aceptabilidad media”

Aceptabilidad sensorial de 3,75 “alta”			
Temperatura (°C)	Límite inferior (días)	VU media (días)	Límite superior (días)
20	49	296	1778
37	28	58	120
49	13	19	26
55	6	10	19
R ²	0,990	0,997	0,998
Aceptabilidad sensorial de 3,125 “entre alta e inicio de una aceptabilidad media”			
Temperatura (°C)	Límite inferior (días)	VU media (días)	Límite superior (días)
20	125	569	2584
37	62	114	209
49	28	37	48
55	12	21	34
R ²	0,994	0,998	0,999

4. Conclusiones

La intersección presentó el mejor desempeño para el modelamiento por lógica difusa (LD), obteniéndose el mejor valor de preferencia sensorial *ps* global de 3,30 para el tratamiento T3 ($p << 0,05$) con 10 mL de aceite de sacha inchi, 5 mL de aceite de soya y 5 mL de aceite de oliva (conserva con 50% de sacha inchi, 25% de aceite de oliva y 25% de aceite de soya). Lo cual concordó cuando se evaluó independientemente este tratamiento, utilizando una prueba Ranking para limpidez y sabor.

Se determinó por pruebas aceleradas y modelamiento por LD que la vida útil de la aceptabilidad sensorial (VUAS), de corazones de alcachofa, es de 296 días a 20°C manteniendo una aceptabilidad sensorial (AS) “alta” y que a los 569 días la AS cambia de “alta a inicio de una AS media”. Ambos valores fueron menores que el tiempo de 892 días determinado por pruebas aceleradas, evaluando el índice de peróxido (IP). Considerando intervalos de confianza superior e inferior de 95%, se obtuvo valores de 1778 días (4,9 años) y 49 días respectivamente para una VUAS

“alta”. Para una VUAS “alta e inicio de una AS media” valores de 2584 días (7 años) y 125 días respectivamente. Aspectos que deberán ser dilucidados en pruebas en un tiempo real para confirmar la validez de las estimaciones en cuanto a la VUAS.

En concordancia con Cavalcanti *et al.* (2013) quienes sostienen que la LD ha demostrado ser eficaz para el análisis de productos alimenticios con variables en sus formulaciones, para obtener resultados a partir del mayor valor del centro de gravedad (CG), lo que lo convierte en una alternativa al análisis clásico. Los resultados obtenidos en la presente investigación, aportan así como otras investigaciones en el ámbito de la aplicación de la LD, al debate de su utilidad y potencial aplicación de sus principios con criterios lingüísticos, a paneles semientrenados utilizando ENE; aspecto medular del método. Constituyendo un aporte a la determinación de VUAS de los productos alimenticios utilizando pruebas aceleradas.

5. Referencias bibliográficas

- Abdullah, L.; Ahmad, N. 2011. Chocolate cakes preference using ranking fuzzy numbers. *Journal of Quality Measurement and Analysis* 7: 65-73.
- Amelia, L.; Wahab, D.A.; Hassan, A. 2009. Modelling of palm oil production using fuzzy expert system. *Expert Systems with Applications* 36: 8735-8749.
- Ávila-de Hernández, R.; González-Torrivilla, C. 2011. La evaluación sensorial de bebidas a base de fruta: una aproximación difusa. *Universidad, Ciencia y Tecnología* 15:171-182.
- Cavalcanti, M.; da Silva, F.; Cavalcanti, J.; Florentino, E.; Florêncio, I.; Moreira, R. 2013. Aplicação da lógica fuzzy na análise sensorial de pão de forma enriquecido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17: 208-215.
- Espinilla, M.; Martínez, L.; Pérez, L.G.; Liu, J. 2008. Modelo de Evaluación Sensorial con Información Lingüística Multigranular para el Aceite de Oliva. XIV Congreso Español sobre Tecnologías y Lógica fuzzy. Pp. 249-255.
- Folorunso, O.; Ajayi, Y.; Shittu, T. 2009. Fuzzy-rule-based approach for modeling sensory acceptability of food products. *Data Science Journal* 8: 70-77.
- Grandés, G. 2008. Evaluación sensorial y fisicoquímica de néctares mixtos de frutas a diferentes proporciones. Universidad de Piura. Disponible en: http://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1553/ING_464.pdf?sequence=1
- İnan, Ö.; Arslan, D.; Taşdemir, Ş.; Özcan, M. 2011. Application of fuzzy expert system approach on

- prediction of some quality characteristics of grape juice concentrate (Pekmez) after different heat treatments. *J Food Sci Technol*. 48: 423-431.
- Jaya, S.; Das H. 2003. Sensory evaluation of mango drinks using fuzzy logic. *J. Sensory Studies* 18: 163-176.
- Lanzillotti, R.S.; Lanzillotti, H.S. 1999. Análise sensorial sob o enfoque da decisão fuzzy. *Rev. Nutr., Campinas*, 122: 145-157.
- Lazim, M.A.; Suriani, M. 2009. Sensory evaluation of the selected coffee products using fuzzy approach. *World Academy of Science, Engineering and Technology Technol* 50: 717-720.
- Martínez, L. 2007. Sensory evaluation based on linguistic decision analysis. *Internat. J. Approx. Reason.* 44: 148–164.
- Mohammadi, T.; Salehi, F.; Razavi, S. 2011. Sensory Acceptability Modeling of Pistachio Green Hull's Marmalade Using Fuzzy Approach. *International Journal of Nuts and Related Sciences*. 2: 48-55.
- Montgomery, D.C.; Runger, G.C. 2012. *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería*. Edit. Limusa S. A. México. D. F. pp. 817.
- Mukhopadhyay, S.; Majumdar, G.C.; Goswami, T.K.; Mishra, H.N. 2013. Fuzzy logic (similarity analysis) approach for sensory evaluation of *chhana podo*. *LWT - Food Science and Technology* 53: 204-210.
- Rojas, C.; Arteaga, H.; Barraza, G.; Mendez, E.; Miano, C. 2011. Estimación de la vida útil de corazones de alcachofa (*Cynara scolymus* L.) marinados en conserva y el contenido de omega 3 y omega 6. *Scientia Agropecuaria* 1: 207-211.
- Routray, W.; Mishra, H.N. 2012. Sensory evaluation of different drinks formulated from dahi (indian yogurt) powder using fuzzy logic. *Journal of Food Processing and Preservation* 36: 1-10.
- Singh, K.P.; Mishra, A.; Mishra, H.N. 2012. Fuzzy analysis of sensory attributes of bread prepared from millet-based composite flours. *LWT - Food Science and Technology* 48: 276-282.
- Wittig de Penna, E. 2001. *Evaluación Sensorial. Una metodología actual para tecnología de alimentos*. Biblioteca Digital de la Universidad de Chile. Disponible en: http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_quimicas_y_farmacuticas/wittinge01/index.html
- Zadeh, L.A. 1965. Fuzzy Sets. *Information and Control* 8: 338-353.
- Zolfaghari, Z.S.; Mohebbi, M.; Najariyan, M. 2014. Application of fuzzy linear regression method for sensory evaluation of fried donut. *Applied Soft Computing* 22: 417-423.