



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

“MODELADO DE PROPIEDADES TEXTURALES DURANTE EL PROCESO DE MADURACIÓN DE QUESO TIPO SUIZO UTILIZANDO PERFILES ESPECTRALES”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autoras:

Bach. Claudia Emperatriz Magán Mujica

Bach. Nadya Paola Vásquez Medina

Asesor:

Mg. Ing. Jimy Frank Oblitas Cruz

Cajamarca – Perú

2017

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Realidad problemática	13
1.2. Formulación del problema.....	15
1.3. Justificación.....	16
1.3.1. <i>Justificación teórica</i>	16
1.3.2. <i>Justificación aplicativa o práctica</i>	16
1.3.3. <i>Justificación valorativa</i>	16
1.3.4. <i>Justificación académica</i>	16
1.4. Limitaciones	16
1.5. Objetivos	17
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	17
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	17
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Antecedentes	19
2.2. Bases teóricas.....	24
2.2.1. <i>El queso</i>	24
2.2.1.1. <i>Proceso productivo</i>	24
2.2.1.2. <i>Maduración</i>	25
2.2.1.3. <i>Características de los quesos madurados</i>	26
2.2.1.4. <i>Agentes responsables de la maduración</i>	26
2.2.1.5. <i>Factores que actúan en la maduración</i>	27
2.2.2. <i>Perfiles espectrales</i>	27
2.2.2.1. <i>Imágenes hiperespectrales (HSI)</i>	27
2.2.2.2. <i>Uso de imágenes hiperespectrales en el análisis de alimentos</i>	28
2.2.2.3. <i>Fundamentos de las imágenes hiperespectrales</i>	29
2.2.2.4. <i>Adquisición de HSI por modo de escaneo de imagen</i>	30
2.2.2.5. <i>Adquisición de HSI por detección de imagen</i>	31

2.2.2.6.	<i>Aplicaciones</i>	32
2.2.3.	<i>Análisis de perfil de textura (TPA)</i>	35
2.2.3.1.	<i>Textura</i>	35
2.2.3.2.	<i>Relación entre textura y reología</i>	36
2.2.3.3.	<i>Definición y parámetros de los análisis de textura</i>	37
2.2.3.4.	<i>Análisis de textura de quesos y frutas</i>	39
2.2.4.	<i>Hipótesis</i>	42
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA		44
3.1.	Diseño de investigación	44
3.2.	Unidad de estudio	44
3.3.	Población	44
3.4.	Muestra	44
3.5.	Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	44
3.5.1.	<i>Recolección de datos</i>	44
3.5.1.1.	<i>Lugar de desarrollo y duración de la investigación</i>	44
3.5.1.2.	<i>Materia prima</i>	44
3.5.1.3.	<i>Diseño experimental</i>	45
3.5.1.4.	<i>Preparación de muestras</i>	46
3.6.	Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos	48
3.6.1.	<i>Análisis de queso tipo suizo, determinación de imágenes hiperespectrales</i>	48
3.6.1.1.	<i>Adquisición de imágenes hiperespectrales</i>	48
3.6.1.2.	<i>Pre procesamiento de imágenes</i>	49
3.6.1.3.	<i>Extracción de información espectral</i>	50
3.6.1.4.	<i>Aplicación del modelo PLSR</i>	53
3.6.2.	<i>Análisis de queso tipo suizo, determinación de perfil de textura</i>	53
3.6.2.1.	<i>Toma de muestras</i>	53
3.6.2.2.	<i>Evaluación de la dureza durante la maduración</i>	53
3.6.2.3.	<i>Análisis estadístico</i>	53
3.6.2.4.	<i>Procesamiento de la información</i>	54
CAPÍTULO 4. RESULTADOS		56
4.1.	Resultados obtenidos en la toma de muestras de imágenes hiperespectrales	56
4.1.1.	<i>Adquisición y procesamiento de imágenes</i>	56
4.1.2.	<i>Modelado</i>	57
4.1.2.1.	<i>Ecuación lograda con el modelo PLSR optimizado para la predicción del tiempo de maduración</i>	58
4.1.2.2.	<i>Ecuación lograda con el modelo PLSR optimizado para la predicción del parámetro de la dureza (D1)</i>	60
4.1.2.3.	<i>Ecuación lograda con el modelo PLSR optimizado para la predicción del parámetro de la dureza (D2)</i>	62
4.1.3.	<i>Aplicación de los modelos</i>	65
4.2.	Resultados obtenidos de la toma de muestras del análisis de perfil de textura	65
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN		70
5.1.	Análisis sensorial	70

5.2. Aplicación de la tecnología de imágenes hiperespectrales	72
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	77
REFERENCIAS	79
ANEXOS	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Definiciones de parámetros mecánicos de textura	39
Tabla 2: Cálculo de la Mediana con parámetros hallados en el TPA	66
Tabla 3: Cálculo de la Desviación Estándar con parámetros hallados en el TPA	67
Tabla 4: Datos obtenidos en el análisis TPA con Texturómetro	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Gráfica general de análisis de perfil de textura	38
Figura 2: Muestras de queso tipo Suizo selladas al vacío	45
Figura 3: Diagrama del diseño experimental	45
Figura 4: Ubicación de muestras en cubos para el TPA.....	46
Figura 5: Diagrama de flujo para la preparación de muestras	47
Figura 6: Sistema de adquisición imágenes hiperespectrales	49
Figura 7: Imagen RGB y selección manual del ROI	51
Figura 8: Estructura del modelo PLSR.....	52
Figura 9: Softwares empleados para el procesamiento de imágenes hiperespectrales	54
Figura 10: Imágenes espectrales – Muestras Exteriores.....	56
Figura 11: Muestras de queso previo a la adquisición de imagen hiperespectral: muestra exterior.....	57
Figura 12: Evolución del valor de la mediana para la Dureza	66
Figura 13: Evolución del valor medio de la reactancia en muestras durante la maduración.....	71
Figura 14: Carga de pesos para el modelo PLSR, H1 y H2	73
Figura 15: Selección aleatoria de ROI en muestras exteriores	84
Figura 16: Selección aleatoria de ROI en muestras interiores	85
Figura 17: Evolución de longitudes de onda y tiempo de maduración – Modelo Completo.....	86
Figura 18: Evolución longitudes de onda y tiempo de maduración – Modelo reducido.....	87
Figura 19: Curvas del modelo PLSR, relación entre las longitudes de onda y la dureza– Modelo completo D1	88
Figura 20: Curvas del modelo PLSR, relación entre las longitudes de onda y la dureza– Modelo reducido D1	89
Figura 21: Curvas del modelo PLSR, relación entre las longitudes de onda y la dureza– Modelo completo D2	90
Figura 22: Curvas del modelo PLSR, relación entre las longitudes de onda y la dureza– Modelo reducido D2	91
Figura 23: Valor PRESS para las longitudes de onda del modelo PLSR con relación al tiempo de maduración.....	92
Figura 24: Valor PRESS para las longitudes de onda del modelo PLSR – Modelo D1	93
Figura 25: Valor PRESS para las longitudes de onda del modelo PLSR – Modelo D2	94
Figura 26: Coeficiente Beta del modelo PLSR – para el tiempo de maduración.....	95
Figura 27: Coeficiente Beta del modelo PLSR con respecto a la dureza – Modelo D1	96
Figura 28: Coeficiente Beta del modelo PLSR con respecto a la dureza - Modelo D2	97
Figura 29: Evolución de la reflectancia para la Dureza 1	98
Figura 30: Evolución de la reflectancia para la Dureza 2	98
Figura 31: Evolución de la reflectancia para el tiempo de maduración	99

RESUMEN

Normalmente la evaluación de la textura durante la maduración del queso requiere métodos invasivos y destructivos, así como equipos especializados. En esta investigación se propone un método no destructivo basado en imágenes hiperespectrales. El objetivo de este estudio fue realizar el modelado de las propiedades texturales del queso de tipo suizo durante el proceso de maduración utilizando sus perfiles espectrales. Treinta y dos muestras fueron preparadas y almacenadas en condiciones de maduración: [0 - 5] semanas, 20 °C y 80% de humedad. Las imágenes hiperespectrales se adquirieron en el rango de 400 a 1000 nm, junto con la maduración, Y llevó a cabo el análisis de textura de perfil (PTA) utilizando dos ciclos de compresión. En PTA se obtuvieron valores de dureza (H) para cada ciclo de compresión (H1 y H2). A continuación, las imágenes hiperespectrales fueron pre-procesadas y analizadas para obtener los perfiles espectrales medios usando funciones que se implementaron en Matlab 2015a. El modelado y optimización de la relación entre los perfiles espectrales y los valores de dureza se realizaron mediante el método de regresión de mínimos cuadrados parciales (PLSR), obteniéndose los modelos ajustados minimizando la suma predictiva de cuadrados (PRESS). El modelo de relación mostró que la longitud de onda más relevante para el modelo H1 fue de 592, 496, 576, 456, 512, 560, 680 y 624 nm; Y para el modelo H2 fueron 592, 496, 576, 456, 512, 624, 680 y 560 nm (clasificados por influencia en el modelo). Finalmente, se calculó el coeficiente de correlación ajustado (R^2) obteniendo valores de 0.89 y 0.90 para H1 y H2 respectivamente. Es posible predecir los valores texturales utilizando un modelo basado en perfiles espectrales con una precisión cercana al 90% y la longitud de onda más relevante para el modelo PLSR está en el rango de 450 a 680 nm.

ABSTRACT

Typically evaluating the texture during cheese maturation requires invasive and destructive methods as well as specialized equipment. In this work, we propose a non-destructive method based on hyperspectral images. The objective of this study was to perform modeling of the textural properties of Swiss-type cheese during the ripening process using their spectral profiles. Thirty-two samples were prepared and stored in ripening conditions: [0 - 5] weeks, 20°C and 80% humidity. Hyperspectral images were acquired in the range of 400 to 1000 nm, along with the ripening process, and conducted the profile texture analysis (PTA) using two compression cycles. In PTA were obtained hardness values (H) for each compression cycle (H1 and H2). Then, the hyperspectral images were pre-processed and analyzed to obtain the average spectral profiles using functions which were implemented in Matlab 2015a. Modeling and optimization of the relationship between spectral profiles and the hardness values were performed by the method of partial least squares regression (PLSR), obtaining the adjusted models by minimizing the predictive residual sum of squares (PRESS). The relationship modeling showed that the most relevant wavelength for H1 model were 592, 496, 576, 456, 512, 560, 680, and 624 nm; and for the H2 model were 592, 496, 576, 456, 512, 624, 680, and 560 nm (sorted by influence on the model). Finally, it was calculated the adjusted correlation coefficient (R²) obtaining values of 0.89 and 0.90 for H1 and H2 respectively. It is possible to predict textural values using a model based on spectral profiles with an accuracy near to 90% and the more relevant wavelength for PLSR model are in the range of 450 to 680 nm.

NOTA DE ACCESO

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales

REFERENCIAS

- Acosta Paisig, E. (2015). *Caracterización del color y la textura del queso mantecoso en almacenamiento controlado*. Trujillo.
- Alvis, A., Pérez, L., & Arrazola, G. (2011). Determinación de las Propiedades de Textura de Tabletas de Chocolate Mediante Técnicas Instrumentales. *Información Tecnológica*, 22(3), 11 - 18.
- Andrade, R., Torres, R., Montes, E., Pérez, O., Bustamante, C., & Mora, B. (2010). Efecto de la temperatura en el comportamiento reológico de la pulpa de zapote (*Calocarpum sapota* Merr). *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia*, 33(2), 138 - 144.
- Benedito, J., Simal, S., Clemente, G., & Mulet, A. (2006). Manchego cheese texture evaluation by ultrasonics and surface probes. *International Dairy Journal* 16, 431 - 438.
- Bourne, M. C. (2002). Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement. En *Elsevier Science and Technology* (pág. 427). EE.UU: Academic Press.
- Brosnan, T., & Sun, D. (2004). Improving quality inspection of food products by computer vision. *Journal of Food Engineering*, 3-16.
- Bugaud, C., Deverge, E., Daribo, M., Ribeyre, F., Fils-Lycaon, B., & Mbéquié-A-Mbéquié, D. (2011). Sensory characterisation enabled the first classification of dessert bananas. *Journal of the science of food and agriculture*, 91(6), 992 - 1000.
- Calzada, J., & Peleg, M. (1978). Mechanical interpretation of compressive stress-strain relationships of solid foods. *Journal of Food Science*, 43(1), 1087 - 1092.
- Castro, A., Novoa, C., Algecira, N., & Buitrago, G. (2014). Reología y perfil de textura de quesos bajos en grasa. *Ciencia y Tecnología*, 22, 58 - 66.
- Chand, N. (1986). Textural classification of foods based on Warner-Bratzler Shear. *Journal of Food Science and Technology*, 23(1), 49 - 54.
- Chen, L., & Opara, U. (2013). Texture measurement approaches in fresh and processed foods — A review. *Food Research International* 51, 823 - 835.
- Coste, E. (1998). *Análisis sensorial de quesos*. España: Universidad Nacional de Las Lomas de Zamora.
- Dai, Q., Cheng, J., Sun, D.-W., & Zeng, X. (2014). Potential of hyperspectral imaging for non-invasive determination of mechanical properties of prawn (*metapenaeus ensis*). *Journal of Food Engineering*, 64 - 72.
- Darnay, L., Králik, F., Oros, G., Koncz, Á., & Firtha, F. (2017). Monitoring the effect of transglutaminase in semi-hard cheese during ripening by hyperspectral imaging. *Journal of Food Engineering* 196, 123 - 129.
- Di, W., Sun, D., & He, Y. (2014). Novel non-invasive distribution measurement of texture profile analysis (TPA) in salmon fillet by using visible and near infrared hyperspectral imaging. *Food Chemistry* 145, 417 - 426.
- Downey, G., Sheehan, E., Delahunty, C., O'Callaghan, D., Guinee, T., & Howard, V. (2005). Prediction of maturity and sensory attributes of Cheddar cheese using near-infrared spectroscopy. *International Dairy Journal* 15, 701 - 709.
- EIMasry, G., & Sun, D.-W. (2010). CHAPTER 1 – Principles of Hyperspectral Imaging Technology. *Hyperspectral Imaging for Food Quality Analysis and Control*, 3 - 43.
- Fresno, M., Álvarez, S., Rodríguez, V., & Ruiz, M. (2007). Evaluación sensorial de la textura de quesos canarios ahumados con diferentes materiales. *Archivos de Zootecnia*, 56, 705 - 711.
- Fukuda, S., Yasunaga, E., Nagle, M., Yuge, K., & Sardud, V. (2014). Modelling the relationship between peel colour and the quality of fresh mango fruit using Random Forests. *Journal of Food Engineering*, 131, 7 - 17.

- Giongo, L., Poncetta, P., Loretto, P., & Costa, F. (2013). Texture profiling of blueberries (*Vaccinium* spp.) during fruit development, ripening and storage. *Postharvest Biology and Technology*, 76, 34 - 39.
- Granados, C., Acevedo, D., Cabeza, A., & Lozano, A. (20 de Marzo de 2014). Análisis de Perfil de Textura en Plátanos Pelipita, Hartón y Topocho. *SciELO*, 35-40.
- Guzmán, L., Tejada, C., De la Ossa, Y., & Rivera, C. (2015). Análisis comparativo del perfil de textura de los quesos frescos de cabra y vaca. *Bioteología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 139-147.
- Jaros, D., Petrag, J., Rohm, H., & Ulberth, F. (2001). Milk fat composition affects mechanical and rheological properties of processed cheese. *Applied Rheology*, 11, 19 - 25.
- Kamruzzaman, M., & Sun, D.-W. (2016). Chapter 5 - introduction to hyperspectral imaging technology. *Computer Vision Technology for Food Quality Evaluation - 2nd Edition*, 111 - 139.
- Kongo, J., & Malcata, F. (2016). Cheese: Processing and Sensory Properties. (B. Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldr, Edits.) *Encyclopedia of Food and Health, Academic Press*, 748 - 754.
- Kraggerud, H., Tormod, N., & Abrahamsen, K. R. (2014). Prediction of sensory quality of cheese during ripening from chemical and spectroscopy measurements. *International Dairy Journal* 34, 6 - 18.
- Lee, W., Kim, M., Lee, H., Delwiche, S., Bae, H., Kim, D., y otros. (2014). Hyperspectral near-infrared imaging for the detection of physical damages of pear. *Journal of Food Engineering*, 130, 1 - 7.
- Leiva-Valenzuela, G., Lu, R., & Aguilera, J. (2013). Prediction of firmness and soluble solids content of blueberries using hyperspectral reflectance imaging. *Journal of Food Engineering* 115, 91 - 98.
- Lu, R., & Chen, Y. (1998). Characterization of nonlinear elastic properties of beef products under large deformation. *Transactions of the ASAE*, 41(1), 163 - 168.
- Martínez, V., Nieto, A., Viollaz, P., & Alzamora, S. (2005). Viscoelastic behaviour of melon tissue influenced by blanching and osmotic dehydration. *Journal of Food Science*, 70(1), 12 - 18.
- Muthukumarappan, K., & Swamy, G. (2017). Chapter 10 - rheology, microstructure, and functionality of cheese. (J. Ahmed, P. Ptaszek, & S. Basu, Edits.) *Advances in Food Rheology and Its Applications, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*, 245 - 276.
- Osorio, J., Ciro, H., & Mejía, L. (2004). Caracterización textural y fisicoquímica del queso Edam. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 57(1), 2269 - 2278.
- Osorio, J., Ciro, H., & Mejía, L. (2004). Caracterización textural y fisicoquímica del queso Edam. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 57(1), 2269 - 2278.
- Park, Y. (2007). Rheological characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research* 68, 73 - 87.
- Peleg, M. (1976). Texture profile analysis parameters obtained by an instron universal testing machine. *Food Science*, 721-722.
- Pineda, D. (2016). Uso de imágenes hiperespectrales en el análisis de alimentos. *CÉLULA, alimentos y bebidas*, 01-05.
- Prentice, J. H. (1992). *Dairy rheology: A concise guide*. United of America: VCH Publishers.
- Rajkumar, P., Wang, N., Elmasry, G., Raghavan, G., & Gariépy, Y. (2012). Studies on banana fruit quality and maturity stages using hyperspectral imaging. *Journal of Food Engineering* 108, 194 - 200.
- Ramírez López, C., & Vélez Ruiz, J. F. (2012). Quesos Frescos: propiedades, métodos de determinación y factores que afectan su calidad . *Revista digital de la Universidad de las Américas Puebla* .
- Ravikanth, L., Singh, C., Jayas, D., & White, N. (2015). Classification of contaminants from wheat using near-infrared hyperspectral imaging. *Biosystems Engineering*, 135, 73 - 86.

- Redgwell, R., & Fischer, M. (2008). Textura de la fruta, metabolismo de la pared celular y percepciones del consumidor. *Bases biológicas de la calidad de la fruta*, 47 - 90.
- Revilla, I., González-Martín, I., Vivar-Quintana, A., González-Pérez, C., & Lurueña-Martínez, M. (2009). Texture evaluation in cheeses by NIRS technology employing a fibre-optic probe. *Journal Of Food Engeneering* 92, 24 - 28.
- Santini, Z., Alsina, D., Athaus, R., Meinardi, C., Freyre, M., Díaz, J., y otros. (2007). Evaluación de la Textura en quesos de oveja. Aplicaciones del Análisis Factorial Discriminante . *FAVE - Ciencias Agrarias*.
- Singh, V., Guizani, N., Al-Alawi, A., Claereboudt, M., & Rahman, M. S. (2013). Instrumental texture profile analysis (TPA) of date fruits as a function of is physicochemical properties. *Industrial Crops and Products*, 50, 866 - 873.
- Sun, D.-W. (2016). *Computer vision technology for food quality evaluation*. Academic Press.
- Torres, J., Gonzáles, K., & Acevedo, D. (2015). Análisis del Perfil de Textura en Frutas, Productos Cárnicos y Quesos. *Reciteia*, 64-72.
- Verdú, S., Vásquez, F., Ivorra, E., Sánchez, A., Barat, J., & Grau, R. (2016). Detection of adulterations with different grains in wheat products based on the hyperspectral image technique: The specific cases of flour and bread. *Food Control* 62, 373 - 380.
- Wu, D., & Sun, D.-W. (2013). Advanced applications of hyperspectral imaging technology for food quality and safety analysis and assessment: A review — Part I: Fundamentals. *Innovate Food Science and Emerging Technologies* 19, 1 - 14.
- Xu, J., Riccioli, C., & Sun, D. (2016). Development of an alternative technique for rapid and accurate determination of fish caloric density based on hyperspectral imaging. *Journal of Food Engineering* 190, 185-194.
- Yang, Q., Sun, D.-W., & Weiwei, C. (2017). Development of simplified models for nondestructive hyperspectral imaging monitoring of TVB-N contents in cured meat during drying process. *Journal of Food Engineering* 192, 53-60.
- Zúñiga Hernández, L. A., Ciro Velásquez, H. J., & Osorio Saraz, J. A. (2007). Estudio de la dureza del queso edam por medio de análisis de perfil de textura y penetrometría por esfera. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 3797 - 3811.