

# TIPIFICACIÓN DE QUESOS MADURADOS DE CABRA PRODUCIDOS EN LA ZONA MONTAÑOSA CENTRAL DEL ESTADO DE VERACRUZ, MÉXICO

## TYPING AGED GOAT CHEESES PRODUCED IN THE MOUNTAINOUS CENTRAL REGION OF THE STATE OF VERACRUZ, MEXICO

E. de Jesús **Ramírez-Rivera**<sup>1</sup>, L. Guadalupe **Ramón-Canul**<sup>1</sup>, Glaforo **Torres-Hernández**<sup>2</sup>, J. Andrés **Herrera-Corredor**<sup>3</sup>, J. Manuel **Juárez-Barrientos**<sup>4</sup>, Jesús **Rodríguez-Miranda**<sup>4</sup>, Erasmo **Herman-Lara**<sup>4</sup>, Pablo **Díaz-Rivera**<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz. Km. 88.5. Carretera Xalapa-Veracruz. 91690. Veracruz. (emmanuel.ramirez@colpos.mx), (lorena.ramon@colpos.mx), (pablod@colpos.mx). <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km. 36.5 Carretera México-Texcoco. Montecillo. 56230. Estado de México. (glatohe@colpos.mx). <sup>3</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba. Km. 348 Carretera Federal Córdoba-Veracruz. 94500. Veracruz. (jandreshc@colpos.mx). <sup>4</sup>Instituto Tecnológico de Tuxtepec. Dr. Víctor Bravo A. 68350. Tuxtepec, Oaxaca. (juarez\_jose13@hotmail.com), (ibq.jesusmir@yahoo.com.mx), (erasmohl@ittux.edu.mx).

### RESUMEN

La región montañosa central del estado de Veracruz, México, se reconoce por su tradición en la producción de quesos artesanales madurados y elaborados con leche de cabra. Los mercados locales demandan este producto, pero no tiene marca comercial y se desconocen sus características típicas. El objetivo de este estudio fue tipificar los quesos artesanales madurados de esa región, mediante la concatenación e influencia de los factores agroecológicos, sistema de producción y calidad de la leche en las propiedades de color, textura, sensoriales de los quesos y preferencia de los consumidores. La hipótesis fue que las condiciones agroecológicas, el manejo caprino, el “*saber hacer*” y el “*saber producir*”, generan quesos artesanales con características propias. Los quesos evaluados fueron artesanales elaborados con leche de cabra y con siete semanas de maduración. Las variables fueron microbiológicas, color, textura, sensoriales y de preferencia de 76 consumidores. Dos diseños completamente aleatorizados se usaron con arreglo factorial de dos y tres factores; la técnica de regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS-path modeling) y análisis factorial múltiple se aplicaron a los resultados. Los quesos son inocuos para los consumidores. Las diferencias ( $p \leq 0.05$ ) se presentaron en color, textura, variables sensoriales y preferencia de los consumidores. La modelación PLS-path confirmó la hipótesis y evidenció que la alimentación diversificada de los sistemas semi-intensivos genera la diversidad de olores y aromas típicos de los quesos artesanales, lo cual contribuyó

### ABSTRACT

The mountainous central region of the state of Veracruz, Mexico, is recognized for its tradition in the production of aged artisan cheeses made from goats' milk. Local markets demand this product, but it does not have a commercial brand name and its typical characteristics are unknown. The objective of this study was to type the aged artisan cheeses of this region by concatenating the influence of agroecological factors, production system and milk quality in the color, texture and sensorial properties of the cheeses and consumer preference. The hypothesis was that agroecological conditions, goat handling and “*know-how*” and “*knowing how to produce*” generate artisan cheeses with their peculiar characteristics. The cheeses evaluated were artisan goat milk cheeses aged for seven weeks. The variables were microbiological, color, texture, sensorial and preference of 76 consumers. Two completely randomized designs were used with a factorial arrangement of two or three factors. The results were subjected to the PLS-path modeling technique and multiple factorial analysis. The cheeses were safe for consumers. Differences ( $p \leq 0.05$ ) were found in color, texture, sensorial variables and consumer preference. PLS-path modeling confirmed the hypothesis and gave evidence that the diversified feed of the semi-intensive systems generates the diversity of odors and aromas typical of artisan cheeses and contributed to explaining 55.3 % of consumer preference. Management and feeding of the goats influenced the physical, chemical and sensorial characteristics and the preference of consumers of artisan cheeses. The artisan cheeses of the study showed similarities to others with collective mark, and thus, could be protected with a quality seal.

\* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: marzo, 2016. Aprobado: junio, 2017.

Publicado como ARTÍCULO en Agrociencia 52: 15-34. 2018.

**a la preferencia de 55.3 % de los consumidores. El manejo y alimentación de las cabras influyeron en las características físicas, químicas y sensoriales y en la preferencia de los consumidores de los quesos artesanales. Los quesos artesanales del estudio mostraron similitudes con otros con distintivo legal, por lo que podrían protegerse con un sello de calidad.**

**Palabras claves:** análisis fisicoquímico, caracterización sensorial, instrumental, modelos causales, preferencia.

## INTRODUCCIÓN

Los quesos artesanales de leche de cabra son parte del patrimonio cultural y su proceso de tipificación incluye análisis del ámbito social y tecnológico de su elaboración (Villegas de Gante, 2009) y la influencia de esos aspectos en la calidad del queso. Con este enfoque, en Brasil (Lacerda de Medeiros *et al.*, 2013), Egipto (Soryal *et al.*, 2004), España (Delgado *et al.*, 2011a, 2011b y 2012), Francia (Raynal *et al.*, 2011) y Turquía (Hayaloglu *et al.*, 2013) se han tipificado quesos de cabra. Las condiciones climáticas y de vegetación en la región montañosa central de Veracruz, México, son aptas para el desarrollo de sistemas intensivos y semi-intensivos de producción de caprinos (SPC) que permiten producir en pequeña escala quesos madurados artesanales.

La demanda local de los quesos madurados es importante, aunque carecen de marca comercial que los proteja y valore (Villegas de Gante, 2009). Por esto y para generar información para los productores, este alimento debe tipificarse integralmente considerando el efecto de aspectos climáticos, de manejo, de alimentación y de la materia prima (leche) sobre la calidad del queso y las preferencias del consumidor (Brunschwig *et al.*, 2004; Bergamaschi *et al.*, 2015). El método multivariable de regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS-path modeling) es una alternativa para analizar y representar esquemáticamente la tipificación de quesos artesanales (Tenenhaus *et al.*, 2005). Este método no se ha aplicado a los quesos artesanales mexicanos.

Las condiciones agroecológicas de la zona montañosa central del estado de Veracruz probablemente interactúan con el sistema de producción caprino y permiten producir quesos artesanales de cabra con

**Key words:** physical-chemical analysis, sensorial characterization, instrumental, causal models, preference.

## INTRODUCTION

Artisan goat cheese is part of our cultural heritage, and the process of typing them includes analyzing the social and technological ambient in which they are made (Villegas de Gante, 2009) and the influence of these aspects on cheese quality. In Brazil (Lacerda de Medeiros *et al.*, 2013), Egypt (Soryal *et al.*, 2004), Spain (Delgado *et al.*, 2011a, 2011b and 2012), Francia (Raynal *et al.*, 2011) and Turkey (Hayaloglu *et al.*, 2013) goat cheeses have been typed using this approach. Climate and vegetation conditions in the mountainous central region of Veracruz, Mexico, are suitable for development of intensive and semi-intensive goat production systems (SPC-the abbreviation in Spanish) that produce aged artisan cheeses on a small-scale.

The local demand for aged cheeses is high, although they lack a commercial brand name that protects and values them (Villegas de Gante, 2009). For this reason and to generate information for the producers, this food should be typed integrally, considering the effect of climate, management and feeding, and the raw material (milk) on cheese quality and consumer preferences (Brunschwig *et al.*, 2004; Bergamaschi *et al.*, 2015). The multivariable regression method of partial least squares path modeling (PLS-path modeling) is an option for analyzing and schematically representing artisan cheese typing (Tenenhaus *et al.*, 2005). However, it has not been applied to Mexican artisan cheeses.

The agroecological conditions of the mountainous central region of the state of Veracruz probably interact with the goat production system and permits artisan production of goat cheese with peculiar characteristics that explain its consumer preference. Therefore, the objective of this study was to type aged cheeses of the mountainous central region of the state of Veracruz, considering the influence of agroecological factors, of the goat production system and of milk quality in the characteristics of artisan cheeses and consumer preferences.

características particulares que expliquen la preferencia de los consumidores. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue tipificar los quesos madurados de la zona montañosa central del estado de Veracruz, considerando la influencia de factores agroecológicos, del sistema de producción caprino y de la calidad de la leche en las características de los quesos artesanales y las preferencias del consumidor.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Delimitación de la zona de estudio y descripción de los Sistemas de Producción Caprinos (SPC)

En este estudio se consideraron los SPC del Sistema Producto Especie Caprinos A.C. en la zona montañosa central y el altiplano de Veracruz, con bosque mesófilo de montaña, bosques de oyamel, pino y matorral xerófilo como vegetación dominante (Cuadro 1) (García *et al.*, 2008; Márquez y Márquez, 2009).

#### Manufactura de quesos artesanales

Los quesos se elaboraron con leche de cabras Alpinas y Sannen ordeñadas manualmente. La leche se filtró, pasteurizó (63 °C por 30 min) y enfrió (37 °C). Cuajo comercial (fuerza de coagulación de 1:10,000 o 110 IMCU mL<sup>-1</sup>, de Industrias Cuamex, México) se agregó en proporción de 30 mL 100 L<sup>-1</sup> de leche, la

## MATERIALS AND METHODS

### Delimitation of the study area and description of the Goat Production Systems (SPC)

In this study, we included the SPC of the Sistema Producto Especie Caprinos A.C. organization in the mountainous central region and the high plateau of Veracruz with mountain mesophyll forest, fir and pine forests, and xerophyll scrub as the dominant vegetation (Table 1) (García *et al.*, 2008; Márquez and Márquez, 2009).

#### Artisan cheese manufacture

The cheeses are made with milk from Alpine and Sannen goats milked manually. The milk is filtered, pasteurized (63 °C for 30 min) and cooled (37 °C). Commercial rennet (curdling force 1:10,000 or 110 IMCU mL<sup>-1</sup>, Industrias Cuamex, México) is added at a proportion of 30 mL 100 L<sup>-1</sup> milk. The curds are cut 45 min later and molded in vinyl polychloride hoops and compacted with a stainless steel press (2 kg<sub>f</sub> kg<sup>-1</sup> cheese for 7 h). The cheese is submerged in brine (28 %, pH 8) and stored at room temperature (18±2 °C) for 2 d. They are then inoculated by spraying *Penicillium candidum* (8×10<sup>7</sup> UFC per dose) Choozit<sup>™</sup> PC-VB (commercial brand Danisco, Dupont of Mexico) and stored for seven weeks in wooden or masonry cellars at 18±2 °C and 80-85 % RH.

**Cuadro 1. Procedencia de los quesos y condiciones agroecológicas de la zona de estudio.**

**Table 1. Origin of the cheeses and agroecological conditions of the study area.**

| SPC, Municipio<br>(codificación del queso)          | Precipitación<br>promedio<br>anual (mm) | Altitud<br>(m) | Temperatura <sup>§</sup><br>promedio<br>anual (°C) | Tipo de<br>alimentación caprino                                                                                          |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dónelo, Coatepec (NOC) <sup>†</sup>                 | 1500.0                                  | 1208           | 18                                                 | Morera ( <i>Morus alba</i> ), bagazo de naranja ( <i>Citrus sinensis</i> ), Pasto Taiwan <i>Peninisetum purpureum</i> ). |
| Don Luis, Coatepec (BMJ) <sup>‡</sup>               | 1500.0                                  | 1239           | 18                                                 | Diversificado, bejuco ( <i>Cissu verticillata</i> y King grass ( <i>Saccharum sinense</i> ).                             |
| Enríquez, Perote (DHE) <sup>†</sup>                 | 493.6                                   | 2400           | 12                                                 | Alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ) y rastrojo de maíz ( <i>Zea mays</i> ).                                               |
| Rincón del Río Frio, Tatatila <sup>‡</sup><br>(LIG) | 1346.0                                  | 1867           | 20                                                 | Bellotas ( <i>Quercus ilex</i> ), pastos Kikuyo ( <i>Pennisetum clandestinum</i> ) y Lolio ( <i>Lolium multiflorum</i> ) |

<sup>†</sup>Sistema Intensivo con alimentación específica y cabras estabuladas; <sup>‡</sup> Sistema semi-intensivo (con alimentación diversificada y cabras en pastoreo; <sup>§</sup> INAFED, 2005. SPC: sistema de producción caprino.

cuajada se cortó 45 min después, se moldeó en aros de policloruro de vinilo y se compactó con prensa de acero inoxidable ( $2 \text{ kg}_f \text{ kg}^{-1}$  queso por 7 h). Los quesos se sumergieron en salmuera (28 % a pH 8) y se almacenaron a temperatura ambiente ( $18 \pm 2^\circ \text{C}$ ) por 2 d. Después se inocularon por aspersión con *Penicillium candidum* ( $8 \times 10^7$  UFC por dosis) Choozit™ PC-VB (marca comercial Danisco, Dupont de México) y se almacenaron por 7 semanas en cavas de madera o mampostería a  $18 \pm 2^\circ \text{C}$  y 80-85 % de HR.

#### **Análisis microbiológicos de leches pasteurizadas y quesos artesanales madurados**

La recolección de la leche pasteurizada se hizo en septiembre y la de los quesos artesanales en octubre de 2014, con el protocolo de transportación NOM-109-SSA1-1994.

En la leche pasteurizada se determinaron las cuentas de microorganismos mesófilos aerobios (MA), coliformes totales (CT), *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* con los métodos 966.23, 991.14 y 2003.08 de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2005). *Salmonella* spp. y *Brucella melitensis* se determinaron de acuerdo con la NOM-114-SSA1-1994 y NOM-041-ZOO-1995. En los quesos se determinaron esos microorganismos, excepto *B. melitensis*. Los resultados se transformaron a  $\log_{10}$ .

#### **Análisis químicos de leches pasteurizadas y quesos artesanales madurados**

En la leche pasteurizada se determinó el contenido de proteína, grasa, lactosa, agua añadida, sólidos no grasos (SNG), sales, punto crioscópico ( $^\circ \text{C}$ ), conductividad eléctrica ( $\text{mS} \times \text{cm}^{-3}$ ) y densidad ( $\text{kg} \times \text{m}^{-3}$ ) con un Lactoscan S (Milkotronic Ltd., Nova Zagora, Bulgaria). La acidez titulable ( $\text{g ácido láctico L}^{-1}$ ) se determinó con el método AOAC 947.05.

En el queso se determinó la composición porcentual de proteína (AOAC 920.123), grasa (AOAC 933.05), humedad (AOAC 948.12) y ceniza (AOAC 935.42). El pH se midió con un potenciómetro (Hanna, HI 98230; Hanna instruments, Milán, Italia) y la actividad de agua (Aw) se determinó con un equipo Pawkit water activity meter (Decagon Devices, Inc. Pullman, USA). Las determinaciones fisicoquímicas se realizaron por triplicado.

#### **Color y textura de los quesos artesanales madurados**

Los parámetros de color  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (rojo-verde) y  $b^*$  (amarillo-azul) se determinaron con un colorímetro UltraScan™ Vis, (Hunter Associates Laboratory Inc., Virginia, USA) y

#### **Microbiological analysis of pasteurized milks and aged artisan cheeses**

In 2014, pasteurized milk was collected in September and the artisan cheeses in October, under the shipping protocol NOM-109-SSA1-1994.

In pasteurized milk, counts of aerobic mesophyll microorganisms (MA), total coliforms (CT), *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* were carried out following methods 966.23, 991.14 and 2003.08 of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2005). *Salmonella* spp. and *Brucella melitensis* were determined according to NOM-114-SSA1-1994 and NOM-041-ZOO-1995. In cheeses, these organisms, except for *B. melitensis*, were determined and the results were transformed to  $\log_{10}$ .

#### **Chemical analyses of pasteurized milks and aged artisan cheeses**

In pasteurized milk, the content of proteins, fat, lactose, added water, non-fatty solids (SNG-abbreviation of Spanish), salts, cryoscopic point ( $^\circ \text{C}$ ), electric conductivity ( $\text{mS} \times \text{cm}^{-3}$ ) and density ( $\text{kg m}^{-3}$ ) were determined with a Lactoscan S (Milkotronic Ltd., Nova Zagora, Bulgaria). Titratable acidity ( $\text{g lactic acid L}^{-1}$ ) was determined with AOAC method 947.05.

In cheese, we determined the percent composition of protein (AOAC 920.123), fats (AOAC 933.05), moisture (AOAC 948.12) and ash (AOAC 935.42). pH was measured with a potentiometer (Hanna, HI 98230; Hanna Instruments, Milan, Italy) and water activity (Aw) was determined with a Pawkit water activity meter (Decagon Devices, Inc. Pullman, USA). The physicochemical determinations were done in triplicate.

#### **Color and texture of the aged artisan cheeses**

The color parameters,  $L^*$  (luminosity),  $a^*$  (red-green) and  $b^*$  (yellow-blue) were determined with a colorimeter UltraScan™ Vis (Hunter Associates Laboratory Inc., Virginia, USA), and used to calculate chromaticity ( $C^*$ ) and Hue angle ( $H^\circ$ ), according to the proposal of Delgado *et al.* (2011a). The cheeses were analyzed in triplicate in three areas of their surfaces.

The texture of the cheeses was determined with a texturometer TA-XT plus (Stable Microsystems, Haslemere, Surrey, UK). In 3 cm diameter and 5 cm tall cylinders, two successive cycles of axial compression (25 % of the height) of the probe without load, and hardness (N), breakability (N), cohesiveness, adhesiveness (Nm), gumminess (N), elasticity and chewability were obtained (Delgado *et al.*, 2011a). This test was done in quintuplicate.

se usaron para calcular cromaticidad ( $C^*$ ) y ángulo Hue ( $H^\circ$ ), de acuerdo con lo propuesto por Delgado *et al.* (2011a). Los quesos se analizaron por triplicado en tres zonas de sus superficies.

La textura de los quesos se determinó con un texturómetro TA-XT plus (Stable Microsystems, Haslemere, Surrey, UK). En cilindros de 3 cm de diámetro y 5 cm de altura se aplicaron dos ciclos sucesivos de compresión axial (25 % de la altura) de la sonda sin carga y se obtuvo la dureza (N), fracturabilidad (N), cohesividad, adhesividad (Nm), gomosidad (N), elasticidad y masticabilidad (Delgado *et al.*, 2011a). Esta prueba se realizó por quintuplicado.

### Caracterización sensorial de los quesos artesanales madurados

El panel lo formó un grupo de seis estudiantes, del Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, con edades de 25 a 32 años, entrenados para evaluar productos lácteos. Cilindros de los quesos, de 1.5 cm de diámetro y 3 cm de espesor, se codificaron con tres dígitos al azar. Las muestras se sirvieron y evaluaron en forma monádica secuencial, con diseño cuadrado latino balanceado, en el que las hileras fueron los jueces entrenados (seis) y las columnas el orden de evaluación de los productos (cuatro); el tratamiento a los quesos ( $Q_{NOC}$ ,  $Q_{BMJ}$ ,  $Q_{DHE}$ ,  $Q_{LIG}$ ) incluyó dos sesiones de evaluación (sesión 1 y sesión 2) por queso artesanal (Salvador *et al.*, 2014).

Los atributos sensoriales fueron: color amarillo (CAMA), dureza al tacto (DUR-T), arenoso al tacto (AREN-T), olor a cabra (O-CABR), olor a leche (O-LECH), olor a fermentado (O-FERMER), olor cítrico (O-CITRI), olor a fruta (O-FRU), olor a madera húmeda (O-MADE), salado (SALA), ácido (ACID), arenoso en boca (AREN-B), aroma a cabra (A-CABR), aroma a fermentado (A-FERM), aroma hongo (A-HONG), aroma frutas (A-FRU) y resabio seco (R-SEQUE). La intensidad en cada atributo se evaluó en una escala continua de cero (débil intensidad) a nueve (fuerte intensidad) (Delgado *et al.*, 2012). A cada juez se le proporcionó pan blanco y agua para eliminar aromas (vía retranasal) y resabios de la muestra anterior (Hayaloglu *et al.*, 2013).

### Estudio con consumidores

El estudio de preferencia se desarrolló en el mercado de productos orgánicos de la ciudad de Coatepec, Veracruz. La prueba se realizó una vez y duró 5 h; en ese tiempo 76 consumidores (41 mujeres y 35 hombres, y con edades de 16 a 61 años) manifestaron

### Sensorial characterization of aged artisan cheeses

A group of six students of the Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, ages 25 to 32 years and trained to judge dairy products, formed the panel. Cylinders of the cheeses, 1.5 cm in diameter and 3 cm thick, were coded at random with three digits. The samples were served and evaluated in sequential monadic form, with a balanced Latin square design in which the rows were the trained judges (six), the columns were the order of evaluation of the products (four) and the treatments were the cheeses ( $Q_{NOC}$ ,  $Q_{BMJ}$ ,  $Q_{DHE}$ ,  $Q_{LIG}$ ) included in two sessions of evaluation (session 1 and session 2) per artisan cheese (Salvador *et al.*, 2014).

Sensorial attributes were yellow color (CAMA), hardness to touch (DUR-T), gritty to touch (AREN-T), goat odor (O-CABR), fruity odor (O-FRU), moist-woody odor (O-MADE), salty (SALA), acid (ACID), gritty in mouth (AREN-B), goat aroma (A-CABR), fermented aroma (A-FERM), fungus aroma (A-HONG), fruit aroma (A-FRU) and dry aftertaste (R-SEQUE). The intensity of each attribute was evaluated on a continuous scale from zero (weak) to nine (strong) (Delgado *et al.*, 2012). Each judge was given White bread and water to eliminate aromas (retranasal via) and the aftertaste of the previous sample (Hayaloglu *et al.*, 2013).

### Consumer study

The preference study was conducted in the organic products market in the city of Coatepec, Veracruz. This test was done once and lasted 5 h. During this time 76 consumers (41 women and 35 men, 16 to 61 years of age) manifested their preference on a 9-point hedonic scale: 1=I dislike it very much (extremely disgusting) and 9=I like it very much (extremely pleasing) (Salvador *et al.*, 2014).

### Statistical analysis

#### Microbiological, chemical, color and texture analyses

The microbiological, chemical and instrumental data were analyzed with standard deviation, one-way ANOVA and comparison of means with the Tukey test (Delgado *et al.*, 2011a). The experimental design was completely randomized with four treatments ( $Q_{NOC}$ ,  $Q_{BMJ}$ ,  $Q_{DHE}$ ,  $Q_{LIG}$ ) and three or five replications per treatment of the chemical or color and texture variables.



su preferencia en una escala hedónica de nueve puntos, en la que uno correspondió a me disgusta extremadamente y nueve a me gusta extremadamente (Salvador *et al.*, 2014).

### Análisis estadístico

#### Análisis microbiológico, químico y de color y textura

Los datos microbiológicos, químicos e instrumentales se analizaron con desviación estándar, ANDEVA de una vía y comparación de medias con la prueba de Tukey (Delgado *et al.*, 2011a). El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro tratamientos ( $Q_{NOC}$ ,  $Q_{BMJ}$ ,  $Q_{DHE}$ ,  $Q_{LIG}$ ) y tres o cinco repeticiones por tratamiento de las variables químicas o de color y textura.

#### Caracterización sensorial de los quesos madurados y estudio con consumidores

Los datos de la caracterización sensorial se analizaron con ANDEVA factorial de tres vías (producto, juez, sesión) e interacción (producto×juez) para determinar el desempeño del panel (Ryffel *et al.*, 2008). Los valores de preferencia se analizaron con ANDEVA, en un diseño factorial con dos factores (producto y consumidor) y luego se agruparon en clases homogéneas, mediante clasificación jerárquica ascendente (CJA) con el método Ward (Schmidt *et al.*, 2010).

#### Tipificación de los quesos madurados mediante modelos causales

La regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS-path modeling) acoplada a análisis factorial múltiple (AFM) se aplicó para analizar las interacciones entre factores o agregados, según la metodología de Pagès y Tenenhaus (2001).

Los agregados (variables latentes o no observables de agrupación) y sus variables consideradas fueron: condiciones agroecológicas (CC: altitud, precipitación y temperatura), sistema de producción caprino (SIS; tipo de sistema y tipo de alimentación de las cabras), leche (proteína, grasa, SNG y acidez titulable), composición química del queso (FQ; proteína, grasa, humedad, ceniza, Aw y pH), instrumentales (NS;  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  y  $H^\circ$ ), sensoriales (SEN; todos los atributos sensoriales) y las clases homogéneas de los consumidores.

Los criterios para seleccionar: 1) el agregado leche, se retuvieron por su influencia en el rendimiento del queso y, 2) el resto de los agregados, sus variables estuvieron en función de la probabilidad ( $p \leq 0.05$ ), de acuerdo con los modelos de ANDEVA (Brunschiwig *et al.*, 2004; Salvador y Martínez, 2007). Después de seleccionar las variables, AFM se aplicó para determinar las

### Sensorial characterization of the aged cheeses and consumer study

The sensorial characterization data were analyzed with a three-way factorial ANOVA (product, judge, session) and interaction (product x judge) to determine the performance of the panel (Ryffel *et al.*, 2008). The preference values were analyzed with an ANOVA, in a factorial design with two factors (product and consumer) and later grouped into homogeneous classes by hierarchical ascendant classification (CJA-abbreviation of Spanish) with the Ward method (Schmidt *et al.*, 2010).

#### Typing aged cheeses using causal models

Partial least squares (PLS-path modeling) regression, coupled to a multiple factorial analysis (AFM) was applied to analyze the interactions between factors or aggregates, following the methodology of Pagès and Tenenhaus (2001).

The aggregates (latent, or not observable, grouping variables) and their variables considered were agroecological conditions (CC: altitude, precipitation and temperature), goat production system (SIS; type of system and type of feeding), milk (protein, fat, SNG and titratable acidity), cheese chemical composition (FQ; protein, fat, moisture, ash, Aw and pH), instrumentals (NS;  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$  and  $H^\circ$ ), sensorial (SEN; all sensorial attributes) and homogeneous classes of consumers.

The selection criteria were the following: 1) the milk aggregate was retained because of its effect on cheese yield, and 2) the rest of the aggregates, their variables were in function of probability ( $p \leq 0.05$ ), in accord with the ANOVA models (Brunschiwig *et al.*, 2004; Salvador and Martínez, 2007). After selecting the variables, AFM was applied to determine those that formed each causal model in function of its correlation ( $r > 0.70$ ) (positive or negative) with principal factor one and two, and the variables of the aggregates CC and SIS were considered supplementary. Equations one to eight showed the connections between aggregates in the causal models:

$$\xi_{CA} (1) = CA + 0 \quad (1)$$

$$\eta_{SPC} (2) = \beta_{12} CA + Z_2 \quad (2)$$

$$\eta_{LECHE} (3) = \beta_{13} CA + \beta_{23} SPC + Z_3 \quad (3)$$

$$\eta_{FQ} (4) = \beta_{24} SPC + \beta_{34} LECHE + Z_4 \quad (4)$$

$$\eta_{SEN} (5) = \beta_{45} FQ + \beta_{65} Z_5 \quad (5)$$

$$\eta_{INS} (6) = \beta_{46} FQ + Z_6 \quad (6)$$

que conformaron cada modelo causal en función de su correlación ( $r$ ) > 0.70 (positiva o negativa) con el factor principal uno y dos, y se consideraron las variables de los agregados CC y SIS como suplementarias. Las ecuaciones uno a ocho mostraron las conexiones entre los constructos en los modelos causales:

$$\xi_{CA} (1) = CA + 0 \quad (1)$$

$$\eta_{SPC} (2) = \beta_{12} CA + Z_2 \quad (2)$$

$$\eta_{LECHE} (3) = \beta_{13} CA + \beta_{23} SPC + Z_3 \quad (3)$$

$$\eta_{FQ} (4) = \beta_{24} SPC + \beta_{34} LECHE + Z_4 \quad (4)$$

$$\eta_{SEN} (5) = \beta_{45} FQ + \beta_{65} + Z_5 \quad (5)$$

$$\eta_{INS} (6) = \beta_{46} FQ + Z_6 \quad (6)$$

$$\eta_{CLASE} (7) = \beta_{57} SEN + \beta_{67} INS + Z_7 \quad (7)$$

$$\eta_{CLASE} (8) = \beta_{58} SEN + \beta_{68} INS + Z_8 \quad (8)$$

donde  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\beta$  y  $Z$  son variables exógenas, endógenas, coeficientes *path* o rutas y término de error, respectivamente; los números en paréntesis corresponde a cada constructo y los ubicados al lado del coeficiente  $\beta$  indican la conexión entre constructos.

La validación de los modelos causales propuestos se efectuó en estas fases: 1) evaluación del modelo de medida, mediante la correlación ( $r$ ) entre la variable y el agregado, considerando que  $r$  > 0.70 (positiva o negativa) corresponde a variables relevantes; 2) validez convergente de cada agregado mediante análisis de varianza extraído (AVE); 3) evaluación del modelo estructural mediante los coeficientes  $\beta$ , la varianza explicada ( $R^2$ ) por agregado y  $r$  entre agregados; y 4) índice de bondad de ajuste (GoF) entre el modelo de medida y el modelo estructural (Tenenhaus *et al.*, 2005).

Los ANDEVA se realizaron con el software STATGRAPHIC PLUS<sup>®</sup> versión 5.2 (Statistical Graphics Corp., USA). El AFM, CJA y el PLS-path modeling se efectuaron con el software XLSTAT, versión 2009 (Addinsoft, New York, NY, USA).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis microbiológicos de leches pasteurizadas y quesos artesanales madurados

En las cuentas MA y CT se observaron diferencias ( $p \leq 0.05$ ). Todas las muestras tuvieron MA menor

$$\eta_{CLASE} (7) = \beta_{57} SEN + \beta_{67} INS + Z_7 \quad (7)$$

$$\eta_{CLASE} (8) = \beta_{58} SEN + \beta_{68} INS + Z_8 \quad (8)$$

where  $\xi$ ,  $\eta$ ,  $\beta$  and  $Z$  are exogenous and endogenous variables, path or route coefficients, and error term, respectively. The numbers in parentheses correspond to each aggregate and those on the side of the  $\beta$  coefficient indicate the connection between aggregates.

Validation of the proposed causal models was done in the following phases: 1) evaluation of the measurement model by correlating ( $r$ ) the variable and the aggregate, considering that  $r$  > 0.70 (positive or negative) corresponds to relevant variables; 2) convergent validity of each aggregate using the extracted analysis of variance (AVE); 3) evaluation of the structural model with the  $\beta$  coefficients, the variance ( $R^2$ ) explained by aggregate and  $r$  between aggregates; and 4) goodness of fit (GoF) index between the measurement model and the structural model (Tenenhaus *et al.*, 2005).

The ANOVA were performed with the software STATGRAPHIC PLUS<sup>®</sup> version 5.2 (Statistical Graphics Corp., USA). The AFM, CJA and PLS-path modeling were done with the software XLSTAT, version 2009 (Addinsoft, New York, NY, USA).

## RESULTS AND DISCUSSION

### Microbiological analyses of pasteurized milks and aged artisan cheeses

In the MA and CT counts, differences ( $p \leq 0.05$ ) were observed. All the samples had MA below the value of 4.48 LogUFC m L<sup>-1</sup> ( $3 \times 10^4$  UFC m L<sup>-1</sup>) permitted by NOM-091-SSA1-1994. Only the samples BMJ and DHE (3.36 and 4.63 LogUFC m L<sup>-1</sup>) exceeded the maximum CT limit (1.04 LogUFC m L<sup>-1</sup> o 10 UFC m L<sup>-1</sup>) permitted by NOM-243-SSA1-2010. *Escherichia coli*, *S. aureus*, *Salmonella* spp. and *B. melitenses* were not detected (Table 2). These results coincided with the elevated loads of MA (2 to 7.4 Log UFC m L<sup>-1</sup>) and CT (2 to 7.54 Log UFC m L<sup>-1</sup>) determined by Gómez-Ruiz *et al.* (2012) in goats' milk in the semi-arid regions of San Luis Potosí, Mexico. In contrast, Martínez *et al.* (2010) found a low incidence (0.5 %) of *B. melitenses* in goats' milk from the UPC of the municipalities of Perote and Jalancingo, Veracruz. The results of these authors are due to pasteurization (Kousta *et*

**Cuadro 2. Análisis microbiológicos de las leches pasteurizadas (Log UFC mL<sup>-1</sup>).****Table 2. Microbiological analyses of pasteurized milks (Log UFC mL<sup>-1</sup>).**

| Leche             | MA <sup>†</sup> | CT <sup>‡</sup> | <i>E. coli</i> <sup>§</sup> | <i>S. aureus</i> <sup>b</sup> | <i>Salmonella</i> spp. | <i>B. melitenses</i> <sup>□</sup> |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| NOC <sup>††</sup> | 0.00b±0         | 0.00c±0         | ND                          | 0a±0                          | ND                     | Negativo                          |
| BMJ <sup>‡‡</sup> | 3.60a±0         | 3.36b±0.05      | ND                          | 0a±0                          | ND                     | Negativo                          |
| DHE <sup>§§</sup> | 3.53a±0.08      | 4.63a±0.04      | ND                          | 0a±0                          | ND                     | Negativo                          |
| LIG <sup>bb</sup> | 0.00b±0         | 0.00c±0         | ND                          | 0a±0                          | ND                     | Negativo                          |

Medias con distinta letra en columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ );  $\pm$ : desviación estándar; ND: No detectado;

<sup>†</sup>Mesófilos aerobios; <sup>‡</sup>Coliformes totales; <sup>§</sup>*Escherichia coli*; <sup>b</sup>*Staphylococcus aureus*; <sup>□</sup>*Brucella melitenses*; <sup>††</sup>Leche de Coatepec (Donelo);

<sup>‡‡</sup>Leche de Coatepec (Don Luis); <sup>§§</sup>Leche de Perote (Enríquez); <sup>bb</sup>Leche de Tatatila (Rincón del Río Frío). ♦ Means with different letters

in a column are statistically different (Tukey,  $p \leq 0.05$ );  $\pm$ : standard deviation. ND: not detected; <sup>†</sup>aerobic mesophylls; <sup>‡</sup>Total coliforms;

<sup>§</sup>*Escherichia coli*; <sup>b</sup>*Staphylococcus aureus*; <sup>□</sup>*Brucella melitenses*; <sup>††</sup>Milk from Coatepec (Donelo); <sup>‡‡</sup>Milk from Coatepec (Don Luis); <sup>§§</sup>Milk from Perote (Enríquez); <sup>bb</sup>Milk from Tatatila (Rincón del Río Frío).

al valor permitido de 4.48 LogUFC m L<sup>-1</sup> ( $3 \times 10^4$  UFC m L<sup>-1</sup>) en la NOM-091-SSA1-1994. Solo las muestras BMJ y DHE (3.36 y 4.63 LogUFC m L<sup>-1</sup>) rebasaron el límite máximo permitido CT (1.04 LogUFC m L<sup>-1</sup> o 10 UFC m L<sup>-1</sup>) por NOM-243-SSA1-2010. *Escherichia coli*, *S. aureus*, *Salmonella* spp. y *B. melitenses* no se detectaron (Cuadro 2). Estos resultados coincidieron con las cargas elevadas de MA (2 a 7.4 Log UFC m L<sup>-1</sup>) y CT (2 a 7.54 Log UFC m L<sup>-1</sup>) determinadas por Gómez-Ruiz *et al.* (2012) en leche de cabras de zonas semi-áridas de San Luis Potosí, México. En contraste, Martínez *et al.* (2010) determinaron una incidencia baja (0.5 %) de *B. melitenses* en leche de cabra de las UPC de los municipios de Perote y Jalancingo, Veracruz. Los resultados de esos autores son producto de la pasteurización (Kousta *et al.*, 2010). Las cargas altas de CT se deben a deficiencias higiénicas en el proceso de

*al.*, 2010). The high loads of CT are the result of deficiencies in hygiene in the production process and in post-pasteurization stages (Yamazaki *et al.*, 2013).

Incidence of MA was found ( $p \leq 0.05$ ) only in DHE cheese (4.61 Log UFC g<sup>-1</sup>) and it exceeded the maximum value of 4.48 Log UFC g<sup>-1</sup> ( $3 \times 10^4$  UFC g<sup>-1</sup>) permitted by NOM-243-SSA1-2010 (Table 3). Absence of CT, *E. coli*, *S. aureus* and *Salmonella* spp., is attributed to the interaction of acid pH, Aw and competition with the lactic culture (Durán *et al.*, 2010; Kousta *et al.*, 2010).

### Physicochemical analyses of pasteurized milks and aged cheeses

The milk from Coatepec (NOC and BMJ) had the highest contents of SNG, protein and lactose ( $p \leq 0.05$ ). NOC milk had high content ( $p \leq 0.05$ )

**Cuadro 3. Análisis microbiológico de quesos artesanales madurados (Log UFC g<sup>-1</sup>).****Table 3. Microbiological analysis of aged artisan cheeses (Log UFC g<sup>-1</sup>).**

| Queso             | MA <sup>†</sup> | CT <sup>‡</sup> | <i>E. Coli</i> <sup>§</sup> | <i>S. aureus</i> <sup>b</sup> | <i>Salmonella</i> spp. |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------|
| NOC <sup>††</sup> | 3.52d±0.11      | 0a±0            | ND                          | 0a±0                          | ND                     |
| BMJ <sup>‡‡</sup> | 4.17b±0.00      | 0a±0            | ND                          | 0a±0                          | ND                     |
| DHE <sup>§§</sup> | 4.61a±0.00      | 0a±0            | ND                          | 0a±0                          | ND                     |
| LIG <sup>bb</sup> | 3.77c±0.06      | 0a±0            | ND                          | 0a±0                          | ND                     |

Medias con distinta letra en columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ );  $\pm$ : desviación estándar. ND: No detectado;

<sup>†</sup>Mesófilos aerobios; <sup>‡</sup>Coliformes totales; <sup>§</sup>*Escherichia coli*; <sup>b</sup>*Staphylococcus aureus*; <sup>□</sup>*Brucella melitenses*; <sup>††</sup>Queso de Coatepec (Donelo);

<sup>‡‡</sup>Queso de Coatepec (Don Luis); <sup>§§</sup>Queso de Perote (Enríquez); <sup>bb</sup>Queso de Tatatila (Rincón del Río Frío). ♦ Means with different letters

in a column are statistically different (Tukey,  $p \leq 0.05$ );  $\pm$ : standard deviation. ND: not detected; <sup>†</sup>aerobic mesophylls; <sup>‡</sup>Total coliforms;

<sup>§</sup>*Escherichia coli*; <sup>b</sup>*Staphylococcus aureus*; <sup>□</sup>*Brucella melitenses*; <sup>††</sup>cheese from Coatepec (Donelo); <sup>‡‡</sup>Cheese from Coatepec (Don Luis);

<sup>§§</sup>Cheese from Perote (Enríquez); <sup>bb</sup>Cheese from Tatatila (Rincón del Río Frío).



producción y etapas posteriores a la pasteurización de la leche (Yamazi *et al.*, 2013).

Incidencia de MA ( $p \leq 0.05$ ) se encontró solo en el queso DHE ( $4.61 \text{ Log UFC g}^{-1}$ ) y superó el valor máximo permitido de  $4.48 \text{ Log UFC g}^{-1}$  ( $3 \times 10^4 \text{ UFC g}^{-1}$ ) en la NOM-243-SSA1-2010 (Cuadro 3). La ausencia de CT, *E.coli*, *S. aureus* y *Salmonella* spp. se atribuye a la interacción entre pH ácido, Aw y competencia con el cultivo láctico (Durán *et al.*, 2010; Kousta *et al.*, 2010).

#### Análisis fisicoquímicos de leches pasteurizadas y quesos madurados

La leche de Coatepec (NOC y BMJ) presentó los contenidos mayores de SNG, proteína y lactosa ( $p \leq 0.05$ ). La leche NOC mostró contenido alto ( $p \leq 0.05$ ) de grasa (5.82 %), lo cual pudo deberse a la presencia del bagazo de naranja en la dieta de las cabras (Salvador y Martínez, 2007). En contraste, la leche LIG (Tatatila) mostró contenidos bajos ( $p \leq 0.05$ ) de proteína (1.38 %), SNG (4.56 %) y lactosa (2.71 %) (Cuadro 4).

Los valores de grasa y lactosa en nuestro estudio fueron superiores a los reportados por Park *et al.* (2007) (3.8 % de grasa y 4.1 % de lactosa) y similares a los observados por Chacón-Villalobos y Pineda-Castro (2009) (4.1 % de grasa y 4.3 % de lactosa).

of fat (5.82 %), which may be due to the presence of orange bagasse in the goats' diet (Salvador and Martínez, 2007). In contrast, LIG milk (Tatatila) showed low ( $p \leq 0.05$ ) protein content (1.38 %), SNG (4.56 %) and lactose (2.71 %) (Table 4).

The fat and lactose contents in our study were higher than those reported by Part *et al.* (2007) (3.8 % fat and 4.1 % lactose) and similar to those observed by Chacón-Villalobos and Pineda-Castro (2009) (4.1 % fat and 4.3 % lactose). The contents of proteins and SNG are comparable to those found by Soryal *et al.* (2004) and Salvador and Martínez (2007) (2.9 % and 7.83 %, respectively).

All the samples, except the LIG sample, exhibited density, conductivity and cryoscopic point similar to those reported by Park *et al.* (2007) ( $1028 \text{ kg m}^{-3}$ ,  $4.3 \text{ mS cm}^{-3}$  and  $-0.540$  a  $-0.573$  °C, respectively). Salt contents and titratable acidity were higher than those obtained by Chacón-Villalobos and Pineda-Castro (2009) (0.5 % salts and  $1.5 \text{ g L}^{-1}$  acidity).

Only the LIG sample ( $-0.32$  °C) had a cryoscopic point outside the range ( $-0.540$  to  $-0.573$  °C) reported by Park *et al.* (2007). This effect may be due to the proportion of water added to the milk (37.24 %), which causes modifications in density and salt and lactose contents. According to Raynal-Ljutovac *et al.* (2005) and Inglingstad *et al.* (2014), diets with low quality forages and the expenditure of energy during

**Cuadro 4. Composición fisicoquímica de leches pasteurizadas.**  
**Table 4. Physical-chemical composition of pasteurized milks.**

| Leche             | Grasa (%)         | Densidad ( $\text{kg m}^{-3}$ ) | Conductividad eléctrica ( $\text{mS cm}^{-3}$ ) | SNG (%)          | Proteína (%)                           |
|-------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------|
| NOC <sup>††</sup> | $5.82a \pm 0.02$  | $1025.23b \pm 0.05$             | $4.29b \pm 0.04$                                | $7.91b \pm 0.02$ | $2.59b \pm 0.01$                       |
| BMJ <sup>††</sup> | $4.78c \pm 0.07$  | $1028.06a \pm 0.02$             | $4.04d \pm 0.01$                                | $8.51a \pm 0.01$ | $2.87a \pm 0.01$                       |
| DHE <sup>§§</sup> | $3.56d \pm 0.01$  | $1024.76c \pm 0.04$             | $4.18c \pm 0.01$                                | $7.41c \pm 0.01$ | $2.39c \pm 0.10$                       |
| LIG <sup>bb</sup> | $5.26b \pm 0.01$  | $1013.39d \pm 0.01$             | $4.64a \pm 0.02$                                | $4.56d \pm 0.01$ | $1.38d \pm 0.01$                       |
| Leche             | Agua añadida (%)  | Lactosa (%)                     | Punto crioscópico (°C)                          | Salas (%)        | Acidez titulable ( $\text{g L}^{-1}$ ) |
| NOC <sup>††</sup> | $0.00c \pm 0.00$  | $4.54b \pm 0.01$                | $-0.57c \pm 0.00$                               | $0.75b \pm 0.01$ | $2.71a \pm 0.07$                       |
| BMJ <sup>††</sup> | $0.00c \pm 0.00$  | $4.81a \pm 0.01$                | $-0.61d \pm 0.00$                               | $0.81a \pm 0.00$ | $1.86c \pm 0.09$                       |
| DHE <sup>§§</sup> | $2.53b \pm 0.00$  | $4.15c \pm 0.01$                | $-0.50b \pm 0.00$                               | $0.70c \pm 0.00$ | $2.40b \pm 0.11$                       |
| LIG <sup>bb</sup> | $37.24a \pm 0.11$ | $2.71d \pm 0.01$                | $-0.32a \pm 0.00$                               | $0.44d \pm 0.00$ | $1.90c \pm 0.05$                       |

Medias con distinta literal en columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ );  $\pm$ : desviación estándar; ND: No detectado.

<sup>††</sup>Leche de Coatepec (Donelo); <sup>††</sup>Leche de Coatepec (Don Luis); <sup>§§</sup>Leche de Perote (Enríquez); <sup>bb</sup>Leche de Tatatila (Rincón del Río Frío). ♦ Means with different letters in a column are statistically different (Tukey,  $p \leq 0.05$ );  $\pm$ : standard deviation. ND: not detected;

<sup>††</sup>Milk from Coatepec (Donelo); <sup>††</sup>Milk from Coatepec (Don Luis); <sup>§§</sup>Milk from Perote (Enríquez); <sup>bb</sup>Milk from Tatatila (Rincón del Río Frío).

Los contenidos de proteínas y SNG son comparables a los presentados por Soryal *et al.* (2004) y Salvador y Martínez (2007) (2.9 y 7.83 %, respectivamente).

Todas las muestras, excepto la muestra LIG, mostraron densidad, conductividad y punto crioscópico similares a lo reportado por Park *et al.* (2007) (1028 kg m<sup>-3</sup>, 4.3 mS cm<sup>-3</sup> y -0.540 a -0.573 °C, respectivamente). Los contenidos de sales y acidez titulable fueron superiores a lo obtenidos por Chacón-Villalobos y Pineda-Castro (2009) (0.5 % y 1.5 g L<sup>-1</sup> de sales y acidez, respectivamente).

Solo la muestra LIG (-0.32 °C) presentó punto crioscópico fuera del intervalo (-0.540 a -0.573 °C) reportado por Park *et al.* (2007). Este efecto podría deberse a la proporción de agua añadida a la leche (37.24 %), que origina modificaciones en la densidad y en los contenidos de sales y lactosa. Según Raynal-Ljutovac *et al.* (2005) y Inglingstad *et al.* (2014), las dietas con forrajes deficientes y los gastos energéticos de las cabras por el pastoreo pueden modificar punto crioscópico, contenido proteico, lactosa y SNG en la leche.

Los quesos LIG y BMJ tuvieron contenido alto ( $p \leq 0.05$ ) de grasa (43.27 %) y proteína (25.33 %). El queso NOC tuvo contenido bajo ( $p \leq 0.05$ ) de humedad y cenizas (29.14 y 2.70 %). Los valores menores ( $p \leq 0.05$ ) de Aw y pH se encontraron en los quesos BMJ y DHE (Cuadro 5).

Los contenidos de grasa en nuestro estudio fueron superiores a los documentados por Salvador *et al.* (2014) (24.9-26.9 %) en quesos madurados 60 d y elaborados con leche de cabras alimentadas con pulpa de naranja. Fresno y Álvarez (2012) determinaron

grazing can modify the cryoscopic point, protein and lactose content and SNG of the milk.

The LIG and BMJ cheeses had high ( $p \leq 0.05$ ) contents of fat (43.27 %) and protein (25.33 %). NOC cheese had low ( $p \leq 0.05$ ) contents of moisture (29.14) and ash (2.70 %). The lowest ( $p \leq 0.05$ ) values of Aw and pH were found in BMJ and DHE cheeses (Table 5).

The fat contents in our study were higher than those documented by Salvador *et al.* (2014) (24.9-26.9 %) in cheeses made with milk from goats fed orange bagasse and aged for 60 d. Fresno and Álvarez (2012) determined 36.42 % moisture, 51.10 % fat and 34.46 % protein in Spanish cheeses aged for 60 d. Guizani *et al.* (2006) and Delgado *et al.* (2011a) found pH 4.95 to 4.8 in goat cheese aged for 30 and 60 d. Cheeses with a high content of fat was related to inclusion of orange bagasse in the goats' diet and with low Aw and pH (Salvador *et al.*, 2014). Accumulation of lactic acid, from lactose, may have caused a descent in pH (Delgado *et al.*, 2011a).

The protein content is due in part to the goats' diet and to the concentration of nutrients because of dehydration of the cheese during aging (Peláez *et al.*, 2004), while moisture and Aw depend on the added salt (Las Casas *et al.*, 2008).

### Color and texture profile of aged artisan cheeses

NOC, DHE and LIG cheeses had higher ( $p \leq 0.05$ ) values in a\* (-2.30 to -3.13), b\* (12.43 to 17.40), C\* (12.66 to 17.64) and H° (75.85-81.04) (Table 6), and thus these cheeses were in the yellow

**Cuadro 5. Composición fisicoquímica de quesos artesanales madurados.**  
**Table 5. Physical-chemical composition of aged artisan cheeses.**

| Queso             | Grasa (%)    | Proteína (%) | Humedad (%) | Ceniza (%) | Aw         | pH         |
|-------------------|--------------|--------------|-------------|------------|------------|------------|
| NOC <sup>††</sup> | 39.57b±0.42  | 15.78c±0.37  | 29.14c±0.55 | 2.70c±0.10 | 0.93a±0.01 | 4.92a±0.01 |
| BMJ <sup>††</sup> | 38.87c±0.50  | 25.33a±0.35  | 32.37b±0.51 | 3.27b±0.06 | 0.91b±0.01 | 4.71c±0.02 |
| DHE <sup>§§</sup> | 39.10bc±0.20 | 18.97b±0.15  | 31.97b±0.90 | 3.17b±0.12 | 0.91b±0.01 | 4.71c±0.01 |
| LIG <sup>bb</sup> | 43.27a±0.06  | 15.41c±0.20  | 37.00a±0.20 | 3.57a±0.06 | 0.92b±0.01 | 4.78b±0.01 |

Medias con distinta letra en columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ );  $\pm$ : Desviación estándar; ND: No detectado; <sup>††</sup>Queso de Coatepec (Donelo); <sup>††</sup>Queso de Coatepec (Don Luis); <sup>§§</sup>Queso de Perote (Enríquez); <sup>bb</sup>Queso de Tatatila (Rincón del Río Frío). ♦ Means with different letters in a column are statistically different (Tukey,  $p \leq 0.05$ );  $\pm$ : standard deviation. ND: not detected; <sup>††</sup>Cheese from Coatepec (Donelo); <sup>††</sup>Cheese from Coatepec (Don Luis); <sup>§§</sup> Cheese from Perote (Enríquez); <sup>bb</sup>Cheese from Tatatila (Rincón del Río Frío).

36.42 % de humedad, 51.10 % de grasa y 34.46 % de proteína en quesos españoles y con 60 d de maduración. Según Guizani *et al.* (2006) y Delgado *et al.* (2011a), el pH de quesos de cabra madurados por 30 y 60 d fue de 4.95 a 4.8. Quesos con contenido alto de grasa se relaciona con presencia de pulpa de naranja en la dieta de las cabras y Aw y pH bajos (Salvador *et al.*, 2014). La acumulación de ácido láctico, a partir de lactosa, pudo haber generado el descenso del pH (Delgado *et al.*, 2011a).

Los contenidos de proteínas se deben, en parte, a la alimentación de las cabras y la concentración de nutrientes por la deshidratación del queso durante la maduración (Peláez *et al.*, 2004), mientras que la humedad y Aw dependen de la sal adicionada (Las Casas *et al.*, 2008).

### Color y perfil de textura de quesos artesanales madurados

Los quesos NOC, DHE y LIG tuvieron los valores mayores ( $p \leq 0.05$ ) en  $a^*$  ( $-2.30$  a  $-3.13$ ),  $b^*$  ( $12.43$  a  $17.40$ ),  $C^*$  ( $12.66$  a  $17.64$ ) y  $H^\circ$  ( $75.85$ - $81.04$ ) (Cuadro 6), por lo que el color de estos quesos estuvo en la zona del amarillo, mientras que solo el queso BMJ exhibió la luminosidad mayor ( $p \leq 0.05$ ).

Los incrementos de  $a^*$  y  $b^*$  se deben a reacciones bioquímicas, como lipólisis y proteólisis durante la maduración, a la adición de aceites vegetales (como en el bagazo de naranja) y la alimentación diversificada de las cabras (Lacerda de Medeiros *et al.*, 2013). Los resultados de color fueron similares a los reportados por Fresno y Álvarez (2012) ( $a^*$ :  $-2.28$ ,  $b^*$ :  $11.89$ ,  $C^*$ :  $12.13$  y  $H^\circ$ :  $87.42$ ), mientras que Sert *et*

zone, while only the BMJ cheese exhibited higher luminosity ( $p \leq 0.05$ ).

Increases in  $a^*$  and  $b^*$  are due to biochemical reactions, such as lipolysis and proteolysis during aging, to addition of vegetable oils (such as that in orange bagasse) and to diversified feeding of the goats (Lacerda de Medeiros *et al.*, 2013). The color results were similar to those reported by Fresno and Álvarez (2012) ( $a^*$ :  $-2.28$ ,  $b^*$ :  $11.89$ ,  $C^*$ :  $12.13$  and  $H^\circ$ :  $87.42$ ), while Sert *et al.* (2014) reported ranges of  $-2.9$  to  $-2.3$  ( $a^*$ ) and  $8.98$  to  $16.10$  ( $b^*$ ) in Tulum cheese made with pasteurized goats' milk. The high value of  $L^*$  of BMJ cheese could be due to the high moisture content (Salvador *et al.*, 2014), and its luminosity ( $L^*$ :  $95.98$ ) was similar to that of Iborenses cheeses aged for 60 d (Delgado *et al.*, 2011a).

Hardness, breakability, cohesiveness, gumminess, and chewiness of NOC cheese were higher ( $p \leq 0.05$ ). In contrast, the BMJ, DHE and LIG cheeses had similar gumminess and chewiness ( $p > 0.05$ ) (Table 7).

The hardness, breakability and cohesiveness of the cheeses of our study were similar to the cheeses aged for 60 and 90 d analyzed by Fresno and Álvarez (2012): hardness  $120.00$  to  $165.73$ , breakability  $61.58$  to  $74.71$ , and cohesiveness  $0.11$ . Differences in hardness, cohesiveness, gumminess, elasticity and chewiness may be due to: 1) gradual loss of moisture during aging and rupture of the casein network, 2) the plastic texture of the cheeses caused by high pH, and 3) high content of fat due to the inclusion of a large amount of fiber and orange bagasse in the goats' diet (Delgado *et al.*, 2011a; Medeiros *et al.*, 2013; Salvador *et al.*, 2014).

**Cuadro 6. Parámetros de color de quesos madurados de cabra.**  
**Table 6. Color parameters of aged goat cheese.**

| Queso             | $L^*$ 0-100       | $a^*$ Rojo-Verde | $b^*$ Amarillo-Azul | $C^*$            | $H^\circ$        |
|-------------------|-------------------|------------------|---------------------|------------------|------------------|
| NOC <sup>†</sup>  | $87.58b \pm 0.88$ | $-2.91c \pm 0.1$ | $17.40a \pm 0.3$    | $17.64a \pm 0.3$ | $80.51b \pm 0.2$ |
| BMJ <sup>‡</sup>  | $91.28a \pm 1.04$ | $-0.45a \pm 0.5$ | $12.66c \pm 0.7$    | $12.66c \pm 0.7$ | $87.31a \pm 1.5$ |
| DHE <sup>§</sup>  | $82.26c \pm 2.90$ | $-2.30a \pm 0.4$ | $14.50b \pm 0.7$    | $14.76b \pm 0.7$ | $81.04b \pm 1.7$ |
| LIG <sup>‡b</sup> | $81.11c \pm 2.20$ | $-3.13a \pm 0.5$ | $12.43c \pm 1.6$    | $12.82c \pm 1.7$ | $75.85c \pm 1.5$ |

Medias con distinta literal en columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ );  $\pm$ : desviación estándar; ND: no detectado; <sup>†</sup>Queso de Coatepec (Donelo); <sup>‡</sup>Queso de Coatepec (Don Luis); <sup>§</sup>Queso de Perote (Enríquez); <sup>b</sup>Queso de Tatatila (Rincón del Río Frío).  
♦ Means with different letters in a column are statistically different (Tukey,  $p \leq 0.05$ );  $\pm$ : standard deviation. ND: not detected; <sup>††</sup>Cheese from Coatepec (Donelo); <sup>‡‡</sup>Cheese from Coatepec (Don Luis); <sup>§§</sup> Cheese from Perote (Enríquez); <sup>bb</sup>Cheese from Tatatila (Rincón del Río Frío).

*al.* (2014) reportaron intervalos de  $-2.9$  a  $-2.3$  ( $a^*$ ) y  $8.98$  a  $16.10$  ( $b^*$ ) en queso Tulum, elaborado con leche pasteurizada de cabra.

El valor alto de  $L^*$  del queso BMJ pudo deberse al contenido elevado de humedad (Salvador *et al.*, 2014), y su luminosidad ( $L^*$ : 95.98) fue similar a la de los quesos Ibores con 60 d de maduración (Delgado *et al.*, 2011a).

La dureza, fracturabilidad, cohesividad, gomosisidad y masticabilidad del queso NOC fueron las mayores ( $p \leq 0.05$ ). En contraste, los quesos BMJ, DHE y LIG mostraron gomosisidad y masticabilidad similar ( $p > 0.05$ ) (Cuadro 7).

La dureza, fracturabilidad y cohesividad de los quesos de nuestro estudio fueron similares a las de quesos con 60 y 90 d de maduración analizados por Fresno y Álvarez (2012): entre 120.11 y 165.73, 61.58 y 74.71 y 0.11 en dureza, fracturabilidad y cohesividad, respectivamente. Las diferencias en dureza, cohesividad, gomosisidad, elasticidad y masticabilidad pueden deberse a: 1) pérdida gradual de la humedad durante la maduración y ruptura de la red de caseína; 2) textura plástica de los quesos ocasionada por pH alto y; 3) contenido alto de grasa debido a una inclusión alta de fibra y bagazo de naranja en la dieta de las cabras (Delgado *et al.*, 2011a; Medeiros *et al.*, 2013; Salvador *et al.*, 2014).

### Caracterización sensorial de los quesos madurados

De acuerdo con el ANDEVA con interacción (producto  $\times$  juez) con tres factores: 1) el panel

### Sensorial characterization of the aged cheeses

According to the ANOVA, with interaction (product  $\times$  judge) with three factors: 1) the panel detected differences ( $p \leq 0.05$ ) among the cheeses (product factor), 2) agreement ( $p \leq 0.05$ ) in the attributes DUR-T, AREN-T, O-MADE, O-CAB, SALA and A-CAB, 3) consistency in the results of all of the attributes among the sessions ( $p \leq 0.05$ ), and 4) consensus in the placing the cheeses on an intensity scale of DUR-T, AREN-T, O-MADE, AREN-B and A-CAB.

NOC cheese had higher ( $p \leq 0.05$ ) intensity CAMA, O-CITRI, ACID and A-FERM. BMJ cheese was perceived ( $p \leq 0.05$ ) as DUR-T, AREN-T, O-CAB, O-MADEH, SALA, A-CAB, A-HONG and R-SEQU, LIG cheese was characterized ( $p \leq 0.05$ ) by the attributes O-LECH, O-FRU and A-FRU, while DHE cheese had intermediate intensities in all the attributes (Figure 1).

The CAMA attribute of the NOC cheese may have been caused by the addition of oils in the orange bagasse (Lacerda de Medeiros *et al.*, 2013). The attributes of DUR-T and AREN-T are related to the decrease in moisture during aging. The O-CABR attribute is due to the presence of carboxylic, decanoic, hexanoic and octanoic acids (capric, caproic and caprylic) generated during aging (Delgado *et al.*, 2011b). Octanoic and decanoic acids, 2-heptanone ketone and 2-heptanol alcohol are identified as responsible for the O-FRU, A-FRU, O-MADEH and A-HONG attributes, respectively (Poveda *et al.*, 2008). O-LECH is associated with

**Cuadro 7. Perfil de textura de quesos madurados.**

**Table 7. Texture profile of aged cheeses.**

| Queso            | Dureza (N)        | Fracturabilidad (N) | Cohesión         | Adhesividad (Nm) | Gomosisidad (N)   | Elasticidad | Masticabilidad    |
|------------------|-------------------|---------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------|-------------------|
| NOC <sup>†</sup> | 153.05a $\pm$ 8.5 | 76.53a $\pm$ 4.2    | 0.51a $\pm$ 0.02 | -0.70a $\pm$ 0.3 | 77.75a $\pm$ 1.2  | 1a $\pm$ 0  | 77.75a $\pm$ 1.2  |
| BMJ <sup>‡</sup> | 130.89b $\pm$ 3.4 | 65.45b $\pm$ 1.7    | 0.20c $\pm$ 0.10 | -1.96a $\pm$ 0.8 | 26.04c $\pm$ 12.6 | 1a $\pm$ 0  | 26.04c $\pm$ 12.0 |
| DHE <sup>§</sup> | 98.71c $\pm$ 3.6  | 49.35c $\pm$ 1.8    | 0.44b $\pm$ 0.00 | -1.37a $\pm$ 0.9 | 43.29b $\pm$ 1.1  | 1a $\pm$ 0  | 43.29b $\pm$ 1.1  |
| LIG <sup>b</sup> | 79.54d $\pm$ 5.7  | 39.77d $\pm$ 2.8    | 0.47b $\pm$ 0.06 | -1.61a $\pm$ 0.5 | 37.38bc $\pm$ 7.1 | 1a $\pm$ 0  | 37.38bc $\pm$ 7.1 |

Medias con distinta literal en columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ );  $\pm$ : desviación estándar; ND: no detectado;

<sup>†</sup>Queso de Coatepec (Donelo); <sup>‡</sup>Queso de Coatepec (Don Luis); <sup>§</sup>Queso de Perote (Enríquez); <sup>b</sup>Queso de Tatatila (Rincón del Río Frío).

♦ Means with different letters in a column are statistically different (Tukey,  $p \leq 0.05$ );  $\pm$ : standard deviation. ND: not detected; <sup>††</sup>Cheese from Coatepec (Donelo); <sup>‡‡</sup>Cheese from Coatepec (Don Luis); <sup>§§</sup> Cheese from Perote (Enríquez); <sup>bb</sup>Cheese from Tatatila (Rincón del Río Frío).



detectó diferencias ( $p \leq 0.05$ ) entre los quesos (factor producto; 2) concordancia ( $p > 0.05$ ) en los atributos DUR-T, AREN-T, O-MADE, O-CAB, SALA y A-CAB; 3) consistencia en los resultados de todos los atributos entre las sesiones ( $p > 0.05$ ) y; 4) consenso en el posicionamiento de los quesos sobre la escala de intensidad en DUR-T, AREN-T, O-MADE, AREN-B y A-CAB.

El queso NOC mostró la intensidad mayor ( $p \leq 0.05$ ) en CAMA, O-CITRI, ACID y A-FERM.

El queso BMJ se percibió ( $p \leq 0.05$ ) como DUR-T, AREN-T, O-CAB, O-MADEH, SALA, A-CAB, A-HONG y R-SEQU, el queso LIG se caracterizó ( $p \leq 0.05$ ) por los atributos O-LECH, O-FRU y A-FRU, mientras que el queso DHE mostró intensidades intermedias en todos los atributos (Figura 1).

El atributo CAMA del queso NOC pudo generarse por la adición de aceites en el bagazo de naranja (Lacerda de Medeiros *et al.*, 2013). Los atributos de DUR-T y AREN-T se relacionan con la disminución de la humedad durante la maduración. El atributo O-CABR se debe a la presencia de ácidos carboxílicos decanoico, hexanoico y octanoico (cáprico, caproico

the lactone  $\gamma$ -dodecalactone (Hayaloglu *et al.*, 2013). The ACID attribute may have been caused by fermentation of the lactose, by compounds derived from lipolysis such as 3-methylbutanoic acid, and by orange bagasse (Salvador *et al.*, 2014). The SALA attribute could be due to the release of peptides by proteolysis, which decreases moisture and increases the salt concentration (Las Casas *et al.*, 2008). Thus, the cheeses made in semi-intensive SPC exhibited greater sensorial diversity of odors and aromas than those made in intensive SPCs. This coincides with observations of Soryal *et al.* (2004) of the diversity of odors and aromas of Domiati cheeses made from milk from grazing goats.

### Consumer evaluation

The preference scores given to the cheeses were similar ( $p > 0.05$ ), oscillating between 6.7 and 7.1 and between “slightly pleasing” and “moderately pleasing”. Ryffel *et al.* (2008) and Salvador *et al.* (2014) reported preference scores of 6.3 to 6.8 for semi-aged cheeses and cheese from goats fed orange

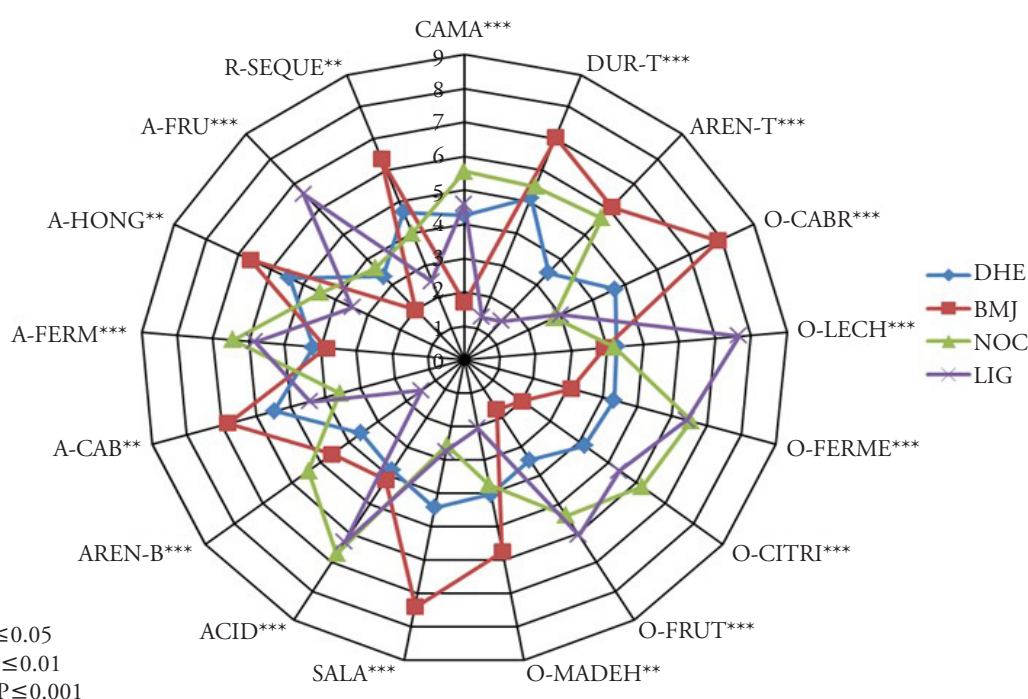


Figura 1. Perfil sensorial de queso madurado de cabra.  
 Figure 1. Sensorial profile of goat mature cheese.



y caprílico) generados en la maduración (Delgado *et al.*, 2011b). Los ácidos octanóico y decanoico, la cetona 2-heptanona y el alcohol 2-heptanol están identificados como responsables de los atributos O-FRU, A-FRU, O-MADEH y A-HONG, respectivamente (Poveda *et al.*, 2008). El O-LECH está asociado a la lactona  $\gamma$ -dodecalactona (Hayaloglu *et al.*, 2013). El atributo ACID pudo generarse por la fermentación de la lactosa, por compuestos derivados de lipólisis como el ácido 3-metilbutanoico, y por el bagazo de naranja (Salvador *et al.*, 2014). El atributo SALA pudo deberse a la liberación de péptidos por la proteólisis, lo cual disminuye la humedad y aumenta la concentración de sal (Las Casas *et al.*, 2008). Así, los quesos elaborados en SPC semi-intensivos exhibieron diversidad sensorial mayor de olores y aromas, comparados con los elaborados en SPC intensivos. Esto coincidió con las observaciones de Soryal *et al.* (2004) de la diversidad de olores y aromas en quesos Domiati, elaborados con la leche de cabra en pastoreo.

### Evaluación por consumidores

Las puntuaciones de preferencia otorgados a los quesos fueron similares ( $p > 0.05$ ), oscilaron entre 6.7 y 7.1, y se ubicaron entre “me gusta ligeramente” y “me gusta moderadamente”. Ryffel *et al.* (2008) y Salvador *et al.* (2014) reportaron valores de preferencia de 6.3 a 6.8 en quesos semi-maduros y quesos de cabras alimentadas con pulpa de naranja. Las diferencias ( $p \leq 0.05$ ) de calificación dentro del panel permitió identificar a los consumidores en: clase 1 (25 personas), clase 2 (18 personas), clase 3 (16 personas) y clase 4 (17 personas).

### Tipificación de los quesos madurados mediante modelos causales

La acidez, el pH y la  $A_w$  del modelo causal uno (Figura 2) y la variable AREN-B del modelo dos (Figura 3) no se consideraron en la explicación de las interrelaciones porque  $r < 0.70$ . Los AVE de los agregados CA, SIS, Leche, FQ, INS y SEN en el primero modelo fueron 0.80, 0.51, 0.50, 0.58, 0.80 y 0.98 y en el segundo modelo fueron 0.76, 0.54, 0.99, 0.73, 0.83 y 0.78. Esto indicó que más de 50 % de la varianza del agregado se explica con las variables retenidas (Espejel *et al.*, 2014). Ambos modelos mostraron

bagasse. The differences ( $p \leq 0.05$ ) in scores within the panel differentiated consumers into classes: class 1 (25), class 2 (18), class 3 (16), and class 4 (17).

### Typing aged cheeses using causal models

Acidity, pH and  $A_w$  of causal model one (Figure 2) and the AREN-B variable of model two (Figure 3) were not considered in the explanation of the interrelationships because  $r < 0.70$ . The AVE of the aggregates CA, SIS, Milk, FQ, INS and SEN in model one were 0.80, 0.51, 0.50, 0.58, 0.80 and 0.98 and in model two they were 0.76, 0.54, 0.99, 0.73, 0.83 and 0.78. This indicated that more than 50 % of the aggregated variance is explained with the retained variables (Espejel *et al.*, 2014). Both models showed that  $R^2$  and  $\beta$  met the minimum values of 0.1 and 0.2, respectively, highlighting the explanatory power of the aggregates. The goodness of fit (GoF) values 0.66 and 0.68 show good fit of the proposed models (Tenenhaus *et al.*, 2005; Espejel *et al.*, 2014). The  $\beta$  values of the first model (Figure 2) showed that the SIS-FQ route ( $r = -0.61$ ,  $\beta_{24} = -0.93$ ) was more important than SIS-Milk ( $r = -0.54$ ,  $\beta_{23} = -0.09$ ) and Milk-FQ ( $r = -0.07$ ,  $\beta_{34} = -0.58$ ). Therefore, semi-intensive SPC ( $-0.93$ ) and diversified feeding with acorns, Kikuyo and native grass ( $-0.62$ ) were associated with high ash (0.95) and moisture (1) contents in the cheeses, and the latter had a negative relationship to the other INS parameters ( $r = -0.87$ ,  $\beta_{46} = -0.87$ ). This result agreed with Chacón-Villalobos and Pineda (2009), who pointed out that high moisture content is associated with cheeses that exhibit high luminosity and low color values ( $b^*$  and  $C^*$ ). Fresno and Álvarez (2012) determined that proteins decrease their mobility because of moisture loss during aging, which increases hardness, breakability, gumminess and chewiness.

Thus, the INS-Class 2 ( $r = 0.57$ ,  $\beta_{67} = 0.38$ ) route indicated that 23.7% of the consumers preferred NOC cheese because of its yellow color ( $b^*$  and  $C^*$ ), hardness, breakability, gumminess, chewiness and sensorial characteristics (route SEN-Class 2,  $r = -0.57$ ,  $\beta_{57} = -0.38$ ) due to A-FERM ( $-0.98$ ). Consumers of class 4 (22.4 %) preferred BMJ cheese because of its sensorial characteristic A-CAB (route SEN-Class,  $r = 0.68$ ,  $\beta_{58} = 0.24$ ).

$\beta$  gave evidence that route CA-SIS ( $r = 0.48$ ,  $\beta_{12} = 0.48$ ) is more important than route CA-Milk

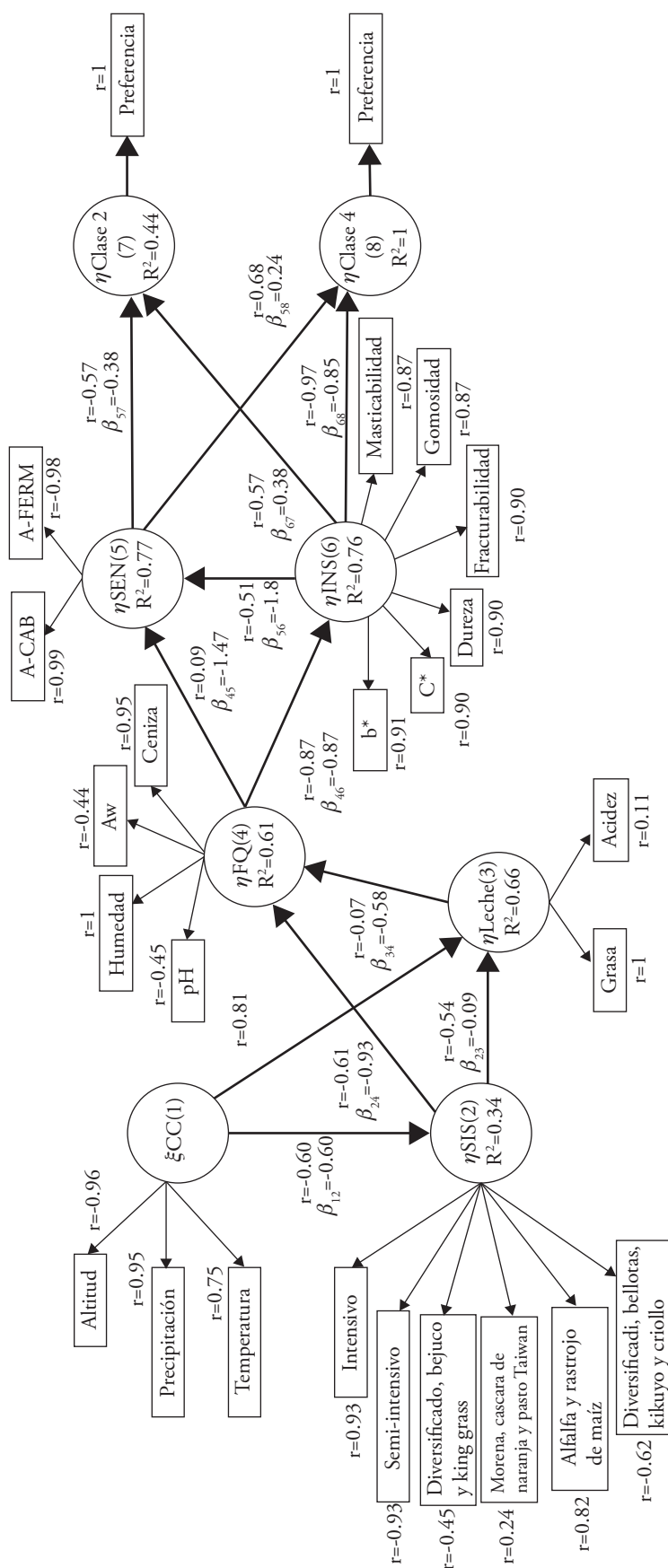


Figura 2. Modelo causal uno de queso madurado de cabra respecto al componente principal uno del análisis factorial múltiple.  
Figure 2. Causal model one of aged goat cheese relative to principal component one of the multiple factorial analysis.

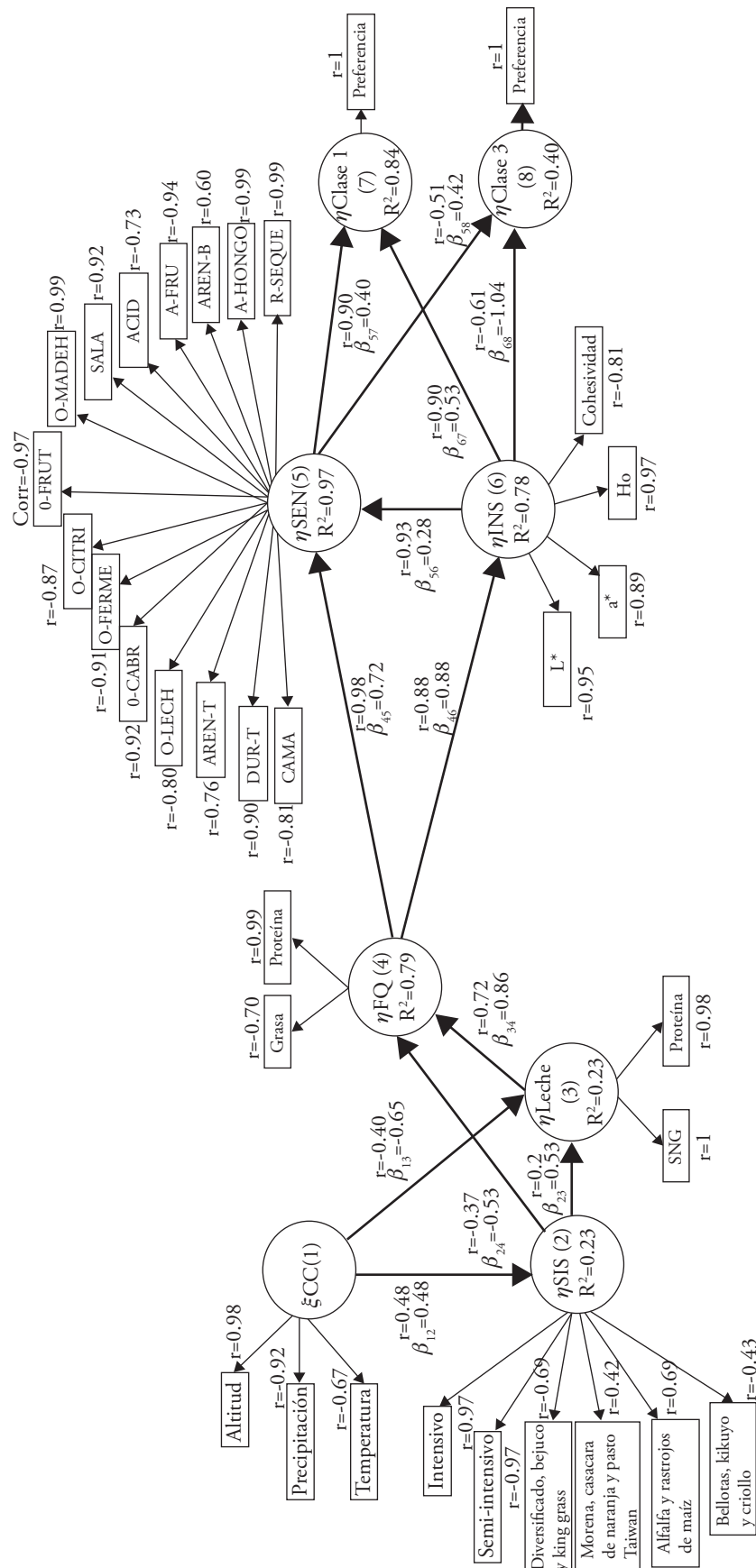


Figura 3. Modelo causal dos de queso madurado de cabra respecto al componente principal dos del análisis factorial múltiple.  
Figure 3. Causal model two of aged goat cheese relative to principal component two of the multiple factorial analysis.

que  $R^2$  y  $\beta$  cumplieron con los valores mínimos de 0.1 y 0.2, respectivamente, lo cual señaló el poder explicativo de los agregados. Los valores de bondad de ajuste (GoF) 0.66 y 0.68 mostraron un buen ajuste de los modelos propuestos (Tenenhaus *et al.*, 2005; Espejel *et al.*, 2014).

Los valores  $\beta$  del primer modelo (Figura 2) mostraron que la ruta SIS-FQ ( $r=-0.61$ ,  $\beta_{24}=-0.93$ ) fue más importante en comparación con SIS-Leche ( $r=-0.54$ ,  $\beta_{23}=-0.09$ ) y Leche-FQ ( $r=-0.07$ ,  $\beta_{34}=-0.58$ ). Por lo tanto, SPC semi-intensivo (-0.93) y alimentación diversificada con bellota, pasto Kikuyo y nativo (-0.62) se relacionó con contenidos altos de ceniza (0.95) y humedad (1) en los quesos, y esta última tuvo una relación negativa con los otros parámetros INS ( $r=-0.87$ ,  $\beta_{46}=-0.87$ ). Este resultado concordó con lo señalado por Chacón-Villalobos y Pineda (2009) de que contenidos altos de humedad se relacionan con quesos que exhiben luminosidad alta y valores bajos de color ( $b^*$  y  $C^*$ ). Fresno y Álvarez (2012) determinaron que las proteínas disminuyen su movilidad por la pérdida de humedad durante la maduración, por lo cual aumentan la dureza, fracturabilidad, gomosidad y masticabilidad.

Así, la ruta INS-Clase 2 ( $r=0.57$ ,  $\beta_{67}=0.38$ ) indicó que 23.7 % de los consumidores prefirieron el queso NOC por su color amarillo ( $b^*$  y  $C^*$ ), dureza, fracturabilidad, gomosidad, masticabilidad y características sensoriales (ruta SEN-Clase 2,  $r=-0.57$ ,  $\beta_{57}=-0.38$ ) debido a A-FERM (-0.98). Los consumidores de la clase 4 (22.4 %) prefirieron el queso BMJ por la característica sensorial A-CAB (ruta SEN-Clase,  $r=0.68$ ,  $\beta_{58}=0.24$ ).

$\beta$  evidenció que la ruta CA-SIS ( $r=0.48$ ,  $\beta_{12}=0.48$ ) es más importante que la ruta CA-Leche ( $r=-0.40$ ,  $\beta_{13}=-0.65$ ) (Figura 3). Este efecto concuerda con las correlaciones negativas y bajas (-0.035, -0.082) entre parámetros agroecológicos y composición de la leche documentadas por Echeverri y Fernando (2009).

$\beta$  y  $r$  de las rutas SIS-leche ( $r=0.2$ ,  $\beta_{23}=0.53$ ) y SIS-FQ ( $r=-0.37$ ,  $\beta_{24}=-0.53$ ) mostraron influencia baja y directa del agregado SIS en los agregados leche y FQ; al contrario, la ruta Leche-FQ ( $r=0.72$ ,  $\beta_{34}=0.86$ ) marcó la influencia de la leche en las características fisicoquímicas del queso.

La ruta indirecta SIS-Leche-FQ mostró la influencia del tipo de sistema y alimentación caprino en los aspectos fisicoquímicos de los quesos. Al respecto, el

( $r=-0.40$ ,  $\beta_{13}=-0.65$ ) (Figura 3). This effect is in agreement with the low negative correlations (-0.035, -0.082) between agroecological parameters and milk composition documented by Echeverri and Fernando (2009).

$\beta$  and  $r$  of the routes SIS-Milk ( $r=0.2$ ,  $\beta_{23}=0.53$ ) and SIS-FQ ( $r=-0.37$ ,  $\beta_{24}=-0.53$ ) showed low direct influence of the SIS aggregate in the milk aggregates and FQ. To the contrary, the route Milk-FQ ( $r=0.72$ ,  $\beta_{34}=0.86$ ) highlighted the influence of the milk in the physicochemical characteristics of the cheese.

The indirect SIS-Milk-FQ route showed the effect of the type of system and feeding on physicochemical aspects of the cheeses. In this respect, the type of dairy system has an influence in chemical characteristics of the cheeses (Bergamaschi *et al.*, 2015).

The aggregate FQ had a positive influence in the INS ( $r=0.88$ ,  $\beta_{46}=0.88$ ) and SEN ( $r=0.98$ ,  $\beta_{45}=0.72$ ) aggregates. The model showed that the semi-stabled SPC (-0.97), with diversified feed, such as reeds and King grass (-0.99), produce milk with high contents of SNG and protein, which increase protein content of the cheese.

The relationship of the protein content of the cheese (0.99) with the parameters (INS)  $L^*$  (0.95),  $a^*$  (0.89) and  $H^o$  (0.97) is due to the proteolysis reactions, and darkening during aging can decrease  $L^*$  and increase  $a^*$  (Tejada *et al.*, 2006). The cheese with high contents of fat (-0.70) is related to the CAMA attribute (-0.81), and this tonality may have been due to the orange pulp and vegetable oils in the diet of the goats (Lacerda de Medeiros *et al.*, 2013; Salvador *et al.*, 2014). Fat was also related to cohesivity (-0.81) and this could be due to the loss of fat globules, resulting from lipolysis, which decreases cheese plasticity.

The inverse relationship between cohesiveness (-0.81), sensorial attributes DUR-T (0.90), AREN-T (0.76) and protein content (0.99) could be due to the modification in cheese texture because of the union between the peptides and polypeptides derived from proteolysis during aging (Karami *et al.*, 2008).

Class 1 consumers (32.8 %) preferred INS cheeses ( $r=0.90$ ,  $\beta_{67}=0.53$ ), with  $L^*$  and low SEN characteristics ( $r=0.90$ ,  $\beta_{57}=0.40$ ), DUR-T (0.90), AREN-T (0.76), O-CABR (0.92), O-MADEH (0.99), A-HONG (0.99), SALA (0.92) and

tipo de sistema lechero influye en las características químicas de los quesos (Bergamaschi *et al.*, 2015).

El agregado FQ influyó positivamente en los agregados INS ( $r=0.88$ ,  $\beta_{46}=0.88$ ) y SEN ( $r=0.98$ ,  $\beta_{45}=0.72$ ). El modelo mostró que los SPC semi-es-tabulados ( $-0.97$ ), con alimentación diversificada, como bejucos y pasto King grass ( $-0.99$ ) producen leche con contenidos altos de SNG y proteína, que aumentan el contenido proteico del queso.

La relación del contenido proteico del queso ( $0.99$ ) con los parámetros (INS)  $L^*$  ( $0.95$ ),  $a^*$  ( $0.89$ ) y  $H^*$  ( $0.97$ ) se debe a que las reacciones de proteólisis y oscurecimiento en la maduración pueden disminuir  $L^*$  y aumentar  $a^*$  (Tejada *et al.*, 2006). Los quesos con contenidos altos de grasa ( $-0.70$ ) se relacionaron con el atributo CAMA ( $-0.81$ ), y esta tonalidad pudo deberse a la pulpa de naranja y aceites vegetales en la dieta de las cabras (Lacerda de Medeiros *et al.*, 2013; Salvador *et al.*, 2014). La grasa también se relacionó con la cohesividad ( $-0.81$ ) y esto podría deberse a pérdida de glóbulos de grasa, como producto de lipólisis, que disminuye la plasticidad del queso.

La relación inversa entre cohesividad ( $-0.81$ ), atributos sensoriales DUR-T ( $0.90$ ), AREN-T ( $0.76$ ) y contenido de proteína ( $0.99$ ) pudo deberse a modificación de la textura de los quesos, por la unión entre los péptidos y polipéptidos derivados de la proteólisis, durante la maduración (Karami *et al.*, 2008).

Los consumidores de la clase 1 ( $32.9\%$ ) prefirieron quesos INS ( $r=0.90$ ,  $\beta_{67}=0.53$ ) con  $L^*$  y características SEN ( $r=0.90$ ,  $\beta_{57}=0.40$ ), DUR-T ( $0.90$ ), AREN-T ( $0.76$ ), O-CABR ( $0.92$ ), O-MADEH ( $0.99$ ), A-HONG ( $0.99$ ), SALA ( $0.92$ ) y R-SEQUE ( $0.99$ ) bajas. Estas características son propias del queso BMJ, en el cual el atributo O-CAB puede tener una influencia mayor en la preferencia del consumidor (Ryffel *et al.*, 2008). La clase 3 ( $21.1\%$ ) prefirió los quesos INS ( $r=-0.61$ ,  $\beta_{68}=-1.04$ ), con cohesividad y SEN ( $r=-0.51$ ,  $\beta_{58}=-0.42$ ) y los atributos CAMA ( $-0.81$ ), O-LECH ( $-0.80$ ), O-FERME ( $-0.91$ ), O-CITRI ( $-0.87$ ), O-FRU ( $-0.94$ ), ACID ( $-0.73$ ) y A-FRU ( $-0.94$ ). Estas características son propias de quesos derivados de alimentación diversificada (LIG) y bagazo naranja (NOC).

## CONCLUSIONES

El sistema de producción y la alimentación de las cabras tienen una influencia directa y determinan las

R-SEQUE ( $0.99$ ). These characteristics are particular of BMJ cheese, in which the O-CAB attribute can have a greater influence on consumer preference (Ryffel *et al.*, 2008). Class 3 ( $21.1\%$ ) preferred INS cheeses ( $r=-0.61$ ,  $\beta_{68}=-1.04$ ), with cohesiveness, and SEN ( $r=-0.51$ ,  $\beta_{58}=-0.42$ ) and the attributes CAMA ( $-0.81$ ), O-LECH ( $-0.80$ ), O-FERME ( $-0.91$ ), O-CITRI ( $-0.87$ ), O-FRU ( $-0.94$ ), ACID ( $-0.73$ ) and A-FRU ( $-0.94$ ). These characteristics are peculiar to cheeses made with milk from goats fed a diversified diet (LIG) and orange bagasse (NOC).

## CONCLUSIONS

The goat production system and the type of diet have a direct effect and determine the end characteristics of aged artisan cheeses. The cheese produced in semi-intensive systems have the typical sensorial attributes of this type of artisan cheese and explains more than  $50\%$  of consumer preference. The cheeses in this study were similar to foreign artisan cheeses with a legal distinctive, such as denomination of origin. Therefore, the aged artisan cheeses made from goats' milk in the mountainous central region of Veracruz are candidates for obtaining a seal of quality, such as a collective brand name.

—End of the English version—

---\*---

características finales de los quesos artesanales madurados. Los quesos elaborados en sistemas semi-intensivos muestran los atributos sensoriales típicos de este tipo de queso artesanal y permiten explicar más de  $50\%$  de la preferencia de los consumidores.

Los quesos de este estudio mostraron similitudes con quesos artesanales extranjeros con distintivo legal, como denominación de origen. Por lo tanto, los quesos artesanales madurados de leche de cabra de la zona montañosa central de Veracruz son candidatos para obtener un sello de calidad, como una marca colectiva.

## AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue apoyada por el Colegio de Postgraduados a través del Fideicomiso de Administración e Inversión



No. 167304 y por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) institución financiadora de la beca doctoral del primer autor.

## LITERATURA CITADA

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2005. Official Methods of Analysis. 18th. In: Horwitz, W. (ed). Washington, D.C.
- Bergamaschi, M., E. Aprea., E. Betta., F. Biasioli., C. Cipolat-Gotet., A. Cecchinato., G. Bittante., and F. Gasperi. 2015. Effects of dairy system herd within dairy system, and individual cow characteristics on the volatile organic compound profile of ripened model cheeses. *J. Dairy Sci.* 98: 2183-2196.
- Brunschwig, G., C. Chevillat., C. Sibra., et Y. Michellin. 2004. Representation cartographique d'activités d'élevage: exemple d'élevage bovin laitier pour la production de fromages d'AOC dans le Massif central. *INRA Prod. Anim.* 17: 109-122.
- Chacón-Villalobos, A., y M. Pineda-Castro. 2009. Características químicas, físicas y sensoriales de un queso de cabra adaptado del tipo "Crottin de Chavignol". *Agron. Mesoam.* 20: 297-309.
- Delgado, F. J., J. González C., R. Cava., and R. Ramírez. 2011a. Proteolysis, texture and color of a raw goat milk cheese throughout the maturation. *Eur. Food Res Technol.* 233: 483-488.
- Delgado F.J., J. González C., R. Cava., and R. Ramírez. 2011b. Formation of the aroma of a raw goat milk cheese during maturation analysed by SPME-GC-MS. *Food Chem.* 129: 1156-1163.
- Delgado F.J., J. González C., R. Cava., and R. Ramírez. 2012. Changes in microbiology, proteolysis, texture and sensory characteristics of raw goat milk cheese treated by high-pressure at different stages of maturation. *LWT-Food Sci Technol.* 48: 268-275.
- Durán L., C. Sánchez., J. Palmero., L. Chaparro., T. García., y E. Sánchez. 2010. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de quesos de cabra en Carora, estado Lara, Venezuela. *Zootec. Trop.* 28:467-476.
- Echeverri, J., y L. Fernando. 2009. Efecto meteorológico sobre la producción y calidad de la leche en dos municipios de Antioquia- Colombia. *Rev. Lasallista Investig.* 6: 50-57.
- Espejel J. E., D. Camarena y S.A. Sandoval. 2014. Alimentos tradicionales en Sonora, México: factores que influyen en su consumo. *Rev. INNOVAR J.* 24: 127-139.
- Fresno, M., and S. Álvarez. 2012. Chemical, textural and sensorial changes during the ripening of Majorero goat cheese. *Int. J. Dairy Technol.* 65: 393-400.
- García J., G. Castillo., K. Mehlreter., M. Martínez., y G. Vázquez. 2008. Composición florística de un bosque mesófilo del centro de Veracruz, México. *Bol. Soc. Bot. México* 83: 37-52.
- Gómez-Ruiz, W., J. M. Pinos-Rodríguez., J. R. Aguirre-Rivera., and J. C. García-López. 2012. Analysis of goat milk cheese in a desert rangeland of Mexico. *Pastoralism* 2: 2-11.
- Guizani, N., Z. Al-Attabi, S. Kasapis, and O. Mahgoub-Gaafar. 2006. Ripening profile of semi-hard goat cheese made from pasturized milk. *Int. J. Food Prop.* 9: 523-532.
- Hayaloglu, A., C. Tolu., K. Yasar., and D. Sahingil. 2013. Volatiles and sensory evaluation of goat milk cheese Gokceada as affected by goat breeds (Gokceada and Turkish Saanen) and starter system during ripening. *J. Dairy Sci.* 96: 2765-2780.
- INAFED. 2005. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, Gobierno del Estado de Veracruz. Enciclopedia de los Municipios de México.
- Inglingstad, R. A., H. Steinshamn, B. S. Dagnachew, B. Valentin, A. Criscione, E. O. Rukke, T. G. Devold, S. B. Skeie, and G. E. Vegarud. 2014. Grazing season and forage type influence goat milk composition and rennet coagulation properties. *J. Dairy Sci.* 97: 3800-3814.
- Karami, M., M. Reza-Ehsani, M. Ebrahimzadeh-Mousavi, K. Rezaei, and M. Safari. 2008. Microestructural changes in fat during the ripening of Iranian Ultrafiltered Feta cheese. *J. Dairy Sci.* 91: 4147-4154.
- Kousta M., M. Matargas, P. Skandamis, and E. H. Drosinos. 2010. Prevalence and source of cheese contamination with pathogens at farm and processing levels. *Food Control* 21: 805-815.
- Las Casas L., C. D., M. M. Cerqueria, G. E. Ferreira, J. L. Faria, N. D. Lee, S. L. Carmo, and A. C. Rosa. 2008. Microbiological, physical-chemical and sensory evaluation of a traditional Brazilian cheese during the ripening process. *World J. Microb. Biot.* 24: 2389-2395.
- Lacerda de Medeiros E., J., R. Egypto-Queiroga, A. Nunes de Medeiros, M. A. Delmondes-Bomfim, A. S. Malveria-Batista, S. S. Dos Santos-Félex, and M. Suely-Madruga. 2013. Sensory profile and physicochemical parameters of cheese from dairy goats fed vegetable oils in the semiarid region of Brazil. *Small Ruminant Res.* 113: 211-218.
- Márquez, W., y J. Márquez. 2009. Municipios con mayor biodiversidad en Veracruz. *Rec. Gen. For.* 11: 43-50.
- Martínez, H., J. A. Morales M., A. E. Peniche C., B. Molina S., M. A. Rodríguez C., R. Loeza L., M. L. Robledo S., J. F. Morales A., and R. Flores-Castro. 2010. Use of RB51 vaccine for small ruminant Brucellosis prevention, in Veracruz, México. *Int. J. Dairy Sci.* 5:10-17.
- Medeiros E., J. A., R. C. R. Queiroga, A. N. Medeiros, A. S. M. Batista, S. S. Félex, and M. S. Madruga. 2013. Sensory profile and physicochemical parameters of cheese from dairy goats fed vegetable oils in the semiarid region of Brazil. *Small Ruminant Res.* 113: 211-218.
- NOM-041-ZOO. 1995. Campaña nacional contra la brucelosis en los animales. México: Norma Oficial Mexicana.
- NOM-109-SSA1. 1994. Bienes y servicios. Procedimientos para la toma, manejo y transporte de muestras de alimentos para su análisis microbiológico. México: Norma Oficial Mexicana.
- NOM-114-SSA1. 1994. Método para la determinación de Salmonella en alimentos. México: Norma Oficial Mexicana.
- NOM-243-SSA1. 2010. Productos y servicios. Leche, formulada láctea, producto lácteo, combinado y derivado lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba. México: Norma Oficial Mexicana.
- Pagès, J., and M. Tenenhaus. 2001. Multiple factor analysis combined with PLS path modeling. Application to the analysis of relationships between physicochemical variables, sensory profiles and hedonic judgements. *Chemometr Intell Lab.* 58: 261-273.

- Park, Y. M., M. Juárez, M. Ramos, and G. F. Haenlein. 2007. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Res.* 68: 88-113.
- Peláez P., M. Fresno, E. Rodríguez, J. Darías, and C. Díaz. 2004. Chemometrics studies of fresh and semi-hard goats cheese produced in Tenerife (Canary Islands). *Food Chem.* 88: 361-366.
- Poveda, J., E. Sánchez, M. Pére., and L. Cabezas. 2008. Volatile composition, olfactometry profile and sensory evaluation of semi-hard Spanish goat cheese. *Dairy Sci. Technol.* 88: 355-367.
- Raynal-Ljutovac, K., P. Gaborit, and A. Lauret. 2005. The relationship between quality of goat milk, its technological properties and the quality of the final products. *Small Ruminant Res.* 60: 167-177.
- Raynal, K., M. Le., P. Gaborit, and P. Barrucand. 2011. French goat milk cheese: An overview on their and sensorial characteristics and their impacts on consumer's acceptance. *Small Ruminant Res.* 101: 64-72.
- Ryffel, S., P. Piccinali, and U. Bütikofer. 2008. Sensory descriptive analysis and consumer acceptability of selected Swiss goat and sheep cheese. *Small Ruminant Res.* 79: 80-86.
- Salvador, A., y G. Martínez. 2007. Factores que afectan la producción y composición de la leche de cabra: una revisión bibliográfica. *Rev. Fac. Cienc. Vet.* 48: 61-76.
- Salvador, A., M. Igual, C. Contreras, N. Martínez-Navarrete, and M. Del Mar-Camacho. 2014. Effect of the inclusion of citrus pulp in the diet of goats on cheese characteristics. *Small Ruminant Res.* 121: 361-367.
- Schmidt, T., M. Schilling, J. Behrends, V. Battula, V. Jackson, R. K. Sekhon, and T. Lawrence. 2010. Use of cluster analysis and preference mapping to evaluate consumer acceptability of choice and select bovine *M. longissimus Lumborum* steaks cooked to various end-point temperatures. *Meat. Sci.* 84: 46-53.
- Sert, D., N. Akin., and A. Aktumsek. 2014. Lipolysis in Tulum cheese produced from raw and pasteurized goat's milk during ripening. *Small Ruminant Res.* 121: 351-360.
- Soryal, K., S. Zeng., B. Min., S. Hart., and F. Beyene. 2004. Effect of feeding system on composition of goat milk and yield of Domiati cheese. *Small Ruminant Res.* 54: 121-129.
- Tejada, L., A. Abellán., J.M. Cayuela., and A. Martínez-Cacha. 2006. Sensorial characteristics during ripening of Murcia al Vino goats milk cheese: the effect of the type of coagulant used and the size of the cheese. *J. Sens. Stud.* 21: 333-347.
- Tenenhaus, M., V. E. Vinzi., Y. M. Chatelin., and C. Lauro. 2005. PLS Path modeling. *Comput. Stat. Data An.* 48: 159-205.
- Villegas de Gante, A. 2009. Los quesos mexicanos genuinos: contribución a su rescate a través de la vinculación universidad-productores. *Rev. Claridades Agrop.* 191: 29-35.
- Yamazi A., K., M. T. Scatamburlo., C. V. Quintana., B. R. C. Konrad., and L. N. Augusto. 2013. Long cold storage influences the microbiological quality of raw goat milk. *Small Ruminant Res.* 113: 205-210.