



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO

PROGRAMA INSTITUCIONAL DE LICENCIATURA EN
BIOTECNOLOGÍA

EFFECTO DEL CALCIO DE NOPAL (verdura) SOBRE EL RENDIMIENTO DEL QUESO PANELA ARTESANAL

PROYECTO DE TESIS

Que como requisito parcial para obtener
El título profesional de

LICENCIADO EN BIOTECNOLOGÍA

Presenta

Arturo Tzintzun Torres

Director de tesis:
Rosa Elena Pérez Sánchez



Morelia, Michoacán, noviembre 2022

DEDICATORIA

A mi madre, padre y hermano.

AGRADECIMIENTOS

D.C. Rosa Elena Pérez Sánchez

Agradezco su orientación, paciencia, sus enseñanzas y apoyo en la presente investigación.

M.V.Z. David Bravo Navarro y D.C. Daniel Val Arreola

Por las correcciones y sugerencias, así como el apoyo del acceso a las instalaciones para el desarrollo de la investigación por parte del M.V.Z. David.

A mi familia

Por ser el motor que me impulsa, por darme mas de lo que siempre han podido, por su amor, cariño y que sin ellos no estaría donde estoy.

A mis amigos

Por su cariño incondicional, consejos y apoyo Aarón y Marilu. Y a mis amigos de la licenciatura por haber recorrido este camino a mi lado apoyándome y pasando buenos y malos momentos Katia, Karina, Nicole, Andrea, Adrián y Renata.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
Producción de Leche en México	3
Valor nutricional y composición de la leche bovina	5
Producción de queso en México	10
Importancia de la Adición de cloruro de calcio a la leche para la elaboración de queso panela	15
Minerales de Nopal	18
Biodisponibilidad de calcio en nopal	19
PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	22
HIPÓTESIS	23
OBJETIVO GENERAL	24
OBJETIVOS PARTICULARES	24
MATERIALES Y MÉTODOS	25
Caracterización del área de estudio	25
Determinación del contenido de calcio en los cladodios de nopal	25
Procedimiento para la elaboración de queso	26
Análisis fisicoquímico de la leche	27
Rendimiento de los tratamientos	28
Determinación de humedad y materia seca	28
Determinación de Calcio	28
Análisis estadístico	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
Concentración de minerales en cladodios de nopal	30
Determinación de la adición de minerales de nopal (MN) a la leche cruda (LC)	31
Análisis fisicoquímico de la leche cruda y pasteurizada	31
Rendimiento del queso panela artesanal	33
Rendimiento del queso panela artesanal (QPA) a las cero horas post-elaboración	33
Rendimiento a las 24 horas post elaboración de queso	34
Resultados de la concentración de calcio en la materia prima (LC y LP) y en los tratamientos (QPA)	37
Porcentaje de humedad y materia seca del queso panela artesanal	38
CONCLUSIONES	41
LITERATURA CITADA	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Denominación del queso según sus características de consistencia y maduración	13
Tabla 2. Determinación de la concentración de los minerales en los cladodios de nopal	30
Tabla 3. Parámetros del análisis fisicoquímico de la leche cruda y pasteurizada	32
Tabla 4. Análisis de varianza para el rendimiento a las cero y 24 horas de acuerdo con el tratamiento	33
Tabla 5. Análisis del porcentaje de calcio para la materia prima (LC y LP) y para los tratamientos	38
Tabla 6. Promedios del porcentaje de humedad en cada tratamiento (tratamiento/6 repeticiones)	39

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Promedio del rendimiento del queso panela artesanal a las cero y 24 horas post elaboración de acuerdo con el tratamiento	35
Gráfica 2. Porcentaje de rendimiento del queso panela fresco de acuerdo con el tratamiento	37

RESUMEN

El objetivo fue evaluar el rendimiento del queso panela artesanal con la adición de minerales extraídos de nopal a la leche cruda y pasteurizada. Para ello, se estableció un diseño experimental factorial de 2X2 (dos tipos de leche: cruda y pasteurizada y dos tipos de calcio: cloruro de calcio (CaCl_2) grado alimenticio y mineral de nopal (MN); y dos tratamientos (T) testigos: leche cruda (LC) y pasteurizada (LP)). Se establecieron seis tratamientos: T1 LC; T2= LC+MN; T3= LC + CaCl_2 ; T4 = LP + MN; T5= LP + CaCl_2 y T6= LP. Cada tratamiento con tres repeticiones. Para cada repetición/tratamiento se utilizó 700 ml de leche de acuerdo con el tratamiento. Las variables a medir fueron: análisis fisicoquímico de la LC y LP, rendimiento de queso panela artesanal (QPA), humedad y materia seca del queso y la concentración de calcio en LC, LP y en cada uno de los QPA. El análisis fisicoquímico de la LC y LP se realizó mediante un analizador de leche ultrasónico (Lactoscan): Densidad, %Grasa, %Sólidos no grasos, %Lactosa, %Sólidos, %Proteína, %Agua agregada y punto Crioscópico. El rendimiento del queso se pesó inmediatamente después de su elaboración (que se consideró como cero horas post-elaboración) y a las 24hrs post-elaboración, en una balanza digital marca registrada. Para la determinación de humedad y materia seca de cada queso/tratamiento a las 24hrs post-elaboración, se tomó una muestra de dos gramos de queso/muestra/tratamiento y se determinó por secado a 105 °C durante 3 h. La determinación de calcio en LC y LP y los quesos se determinó por espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR). Para FT-IR, se utilizó un espectrofotómetro de Infrarrojo con Transformada de Fourier (Bruker, modelo Tensor 27) que se operó en un rango de 4000 a 400 cm^{-1} , con una resolución de 4 cm^{-1} , a una temperatura de 18.7° C con humedad relativa del 41%. En los resultados de la concentración de minerales de cladodios de nopal se observó que la mayor concentración de los minerales (77.6%) corresponde a calcio y fósforo. El proceso de pasteurización lenta (65° c por 30 minutos) no generó ningún cambio en la composición fisicoquímica de la leche. El mayor rendimiento del QPA se logra con la adición de minerales de nopal tanto en leche cruda como en pasteurizada (150 y 180grs/700 ml de leche, respectivamente). La adición de minerales de nopal incrementa el rendimiento del queso panela artesanal.

Palabras clave: Mineral, Nopal, Calcio, Rendimiento y Queso.

ABSTRACT

The objective was to evaluate the yield of artisanal panela cheese with the addition of minerals extracted from nopal to raw and pasteurized milk. For this, a 2X2 factorial experimental design was established (two types of milk: raw and pasteurized and two types of calcium: food grade calcium chloride (CaCl_2) and nopal mineral (MN); and two control treatments (T): raw milk (LC) and pasteurized (LP)). Six treatments were established: T1 LC; T2= LC+MN; T3= LC + CaCl_2 ; T4 = LP + MN; T5= LP + CaCl_2 and T6= LP. Each treatment with three repetitions. For each repetition/treatment, 700 ml of milk was used according to the treatment. The variables to be measured were: physicochemical analysis of the LC and LP, yield of artisanal panela cheese (QPA), humidity and dry matter of the cheese and the concentration of calcium in LC, LP and in Each of the QPA. The physicochemical analysis of the LC and LP was carried out using an ultrasonic milk analyzer (Lactoscan): Density, %Fat, %Non-fatsolids, %Lactose, %Solids, %Protein, %Addedwater and Freezingpoint. The yield of the cheese was weighed immediately after processing (which was considered as zero hours post-processing) and 24 hours post-processing, on a registered digital scale. For the determination of moisture and dry matter of Each cheese/treatment at 24 hours post-elaboration, a sample of two grams of cheese/sample/treatment was taken and determined by drying at 105 °C for 3 hours. Calcium determination in LC and LP and cheeses was determined by Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR). For FT-IR, a Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (Bruker, model Tensor 27) was used, which was operated in a range of 4000 to 400 cm^{-1} , with a resolution of 4 cm^{-1} , at a temperature of 18.7 ° C with relative humidity of 41%. The results of the concentration of minerals in the cladodes of nopal showed that the highest concentration of minerals (77.6%) corresponds to calcium and phosphorus. The slow pasteurization process (65° C for 30 minutes) did not generate any change in the physicochemical composition of the milk. The highest yield of QPA is achieved with the addition of nopal minerals in both raw and pasteurized milk (150 and 180 g/700 ml of milk, respectively). The addition of nopal minerals increases the yield of artisanal panela cheese.

Key words: Nopal, Mineral, Calcium, Yield and Cheese.

INTRODUCCIÓN

En México, el sector lechero aporta el 24% del PIB agropecuario, dicho sector y la producción de queso son actividades vinculadas, que se desarrollan bajo una gran diversidad cultural y económica (SADER, 2020). La producción de queso artesanal desempeña un papel importante en la sostenibilidad de las zonas rurales, pues tiene la posibilidad de dinamizar la economía, evitar la migración y preservar las tradiciones alimentarias singulares. Este tipo de queserías producen hasta el 68% del total de la producción nacional, pero presentan una serie de problemas, entre las que se encuentra: el desconocimiento de la calidad de la materia prima (leche) y la ausencia de buenas prácticas de manufactura, mismas que originan productos de mala calidad y con una vida de anaquel inferior a la de los productos de la industria formal (Cesín-Vargas, 2014).

Sin embargo, las nuevas exigencias de los consumidores con respecto a calidad alimentaria (alimentos seguros y saludables), están cambiando la exigencia de manera progresiva de los mercados hacia los productos, que además de calidad presenten características singulares (aroma y sabor que caracterizan a los quesos genuinos) que los diferencien de otros productos similares, tal como la quesería artesanal, misma que ofrece quesos frescos de pasta blanda, sabor suave y precios accesibles. La norma oficial mexicana (NOM-243-SSA1-2010) prohíbe la elaboración, venta y comercialización de quesos frescos elaborados a partir de leche cruda sin tratamiento térmico. El tratamiento térmico de la leche interfiere en el tiempo de formación del cuajo, tasa de formación de la cuajada, y vigor del coágulo en la producción de queso. Se ha establecido que la adición de Ca^{2+} reduce el tiempo de coagulación del cuajo de la leche, debido a la neutralización de los residuos cargados

negativamente en la caseína, lo que aumenta la agregación de las micelas cuajadas y el rendimiento del queso.

Un alimento funcional como el nopal, es ampliamente consumido y estudiado en México por su contenido de carbohidratos digeribles, fibra, antioxidantes (carotenoides y betalaínas, potenciales agonistas de TGR5), calcio, potasio, vitamina A, vitaminas del complejo B y vitamina C. Además, por su alto contenido en compuestos fenólicos y polifenólicos como quercetina, kaempferol, ácido ferúlico y nicotiflorino. Poseen una considerable cantidad de minerales como carbonatos, cloruros, sulfatos, oxalatos y fosfatos. Particularmente, la mayor proporción de minerales en los cladodios es calcio (3.1 a 5.8%). De aquí que, si en la fabricación del queso artesanal se incluye nopal deshidratado como fuente de calcio ¿el contenido y biodisponibilidad del calcio presente en el nopal deshidratado tendrá efectos sobre el rendimiento del queso artesanal?

ANTECEDENTES

Producción de Leche en México

Los censos ganaderos establecen que, de los 570 millones de granjas existentes en el mundo, más del 87.7% corresponden a granjas familiares (> 500 millones); por lo que son el principal modo de producción de alimentos para el consumo humano del planeta, puesto que producen el 80% de los alimentos del mundo y constituyen la mayor fuente de empleo en el mundo entero. Sin embargo, el precio de los productos agropecuarios provenientes de las granjas familiares, han sufrido severos decrementos y ello ha fomentado el abandono del campo y el incremento de la migración de la población de las zonas rurales (FAO, 2014).

Para la secretaría de agricultura y desarrollo rural (SADER), en México, el sector lechero aportó el 24% del PIB agropecuario. En el 2018, este sector ocupó el 8^{vo} lugar a nivel mundial en producción de leche. Mientras que, el consumo *per cápita* de leche fue de 134 L, pero, el país solo fue capaz de aportar el 68% (91.2 L) de dicho consumo *per cápita* (SADER, 2020). Sin embargo, la producción de leche de acuerdo con los diversos sistemas de producción de bovinos productores de leche en el país no es homogénea, puesto que las condiciones tecnológicas, agroecológicas y socioeconómicas son diferentes para cada sistema: intensivo, familiar y extensivo de doble propósito (Camacho-Vera *et al.*, 2017). Sin embargo, a nivel mundial México es un país importador de leche, quizá el mayor de dicho producto, un factor importante podría ser la diversificación de los sistemas de producción de leche que se explotan en México, los cuales presentan grandes contrastes entre cada tipo de sistema (Ortega *et. al.*, 2005).

Troncoso (2014) caracteriza a los sistemas de producción de leche en México en cuatro tipos:

1) Sistema estabulado, trabaja con razas especializadas como Holstein, Pardo Suizo y Jersey, su nivel de producción promedio en este sistema oscila entre los 7,000 a 8,000 kg por lactancia (normalmente a 305 días); 2) Sistema semi-estabulado, trabaja con razas especializadas también (Holstein, Pardo Suizo y Jersey), la producción de leche oscila entre 3,000 y 4,000 kg por lactancia (que no necesariamente llega a 305 días). 3) Sistema de pastoreo, los animales pasan la mayor parte del día en praderas de gramíneas; puede haber una complementación alimenticia. Dichos sistemas trabajan con animales no especializados para esta actividad, predominando las razas cebuinas y sus cruzas con animales especializados para producir leche, normalmente se manejan animales F1. Las lactaciones son más cortas (250 días promedio) y su producción es en promedio de 2,000 kg de leche.

4) Sistema familiar o de traspatio (SPF), usan animales cruzados con Holstein o también con las otras razas conocidas; la alimentación es variada tanto en calidad como en cantidad, por lo que la producción también tiene dicho comportamiento. Las lactaciones tienden a ser irregulares, puesto que pueden ser de 200 días en promedio o incluso no se respeta el periodo de secado de la vaca. Entre las características que destacan en el sistema familiar se encuentra el aprovechamiento de los recursos de las familias rurales como mano de obra y residuos de las cosechas, así como el pastoreo de tierras de agostadero. Se ha determinado que la producción promedio de leche en los SPF es de 5.4 L/vaca/día (Sánchez *et al.*, 2015).

Con respecto a Michoacán la producción de leche es de aproximadamente 121 millones 320 mil litros anuales, de los cuales 18 millones de litros de leche se destinan para la producción de quesos, lo cual genera 2 millones 500 mil toneladas de dicho producto. La principal cuenca lechera de Michoacán está representada por el municipio de Marcos Castellanos con una producción anual de 32 millones 400 mil

litros estimados y los municipios de Tepalcatepec, Coalcomán, Buenavista con una producción anual estimada de 25 millones 200 mil litros. La otra cuenca lechera importante se sitúa en la Ciénega de Sahuayo que genera anualmente 21 millones 600 mil y el Valle de Morelia-Queréndaro con 32 millones 400 mil litros al año (Quadratín, 2017). Se ha determinado que estos sistemas (SPF) generan una ganancia diaria aproximada de \$25.85 MXN (si se toma en cuenta la producción promedio de leche vaca/día: 9 kg, que se ha registrado en Michoacán), ganancia que limita a los productores cubrir las necesidades básicas de sus familias (Moreno *et al.*, 2012). Sin embargo, este sector ha persistido a través del tiempo, debido principalmente, a que el autoconsumo y/o venta de la leche cruda y sus subproductos se considera como un complemento del ingreso económico de las familias campesinas (INEGI, 1999). Además, para las organizaciones como la FAO y la UNESCO, la leche de bovinos es un elemento indispensable en la alimentación humana, por lo que su producción debe ser parte de las estrategias de seguridad alimentaria en muchos países (Fuentes *et al.*, 2013). Aspecto en el que México y Michoacán, no debe estar exento.

Valor nutricional y composición de la leche bovina

La leche es una dispersión coloidal de micelas de caseína y glóbulos de grasa en suero, consta de agua y solutos disueltos como la lactosa, proteínas de suero, sales solubles, aniones y/o cationes de sal (Guinee, 2021), es un producto de gran importancia por su valor nutricional respecto a las proteínas de origen animal.

La composición de la leche es el factor que determina su valor nutricional y su calidad industrial, la composición puede variar o ser afectada por diferentes factores como la raza, la genética, la nutrición y el manejo de los hatos; siendo la leche con mayor

contenido graso y proteico la que aporta más nutrientes al consumidor y mejoran las propiedades organolépticas del producto. Actualmente la leche es considerada uno de los alimentos esenciales para la alimentación humana (García, 2005) debido a su constitución nutricional (Rojas-Castro *et al.*, 2007). Entre los constituyentes de la leche se destaca su contenido de energía (kcal, grasa y carbohidratos), proteínas (3 veces más que la leche humana), calcio y vitaminas, pero es pobre en hierro y niacina (Latham, 2002) debido a dichas cualidades la FAO y la UNESCO han recomendado como alimento indispensable para la nutrición humana, principalmente para los niños (Marín, 2019).

Las normas oficiales establecen que la leche debe contener como mínimo: 8.3% de sólidos totales, 3 % de proteína cruda, 3.6% grasa y 4.3% lactosa (NOM-155-SCFI-2012). En relación con las características organolépticas de la leche cruda, la norma oficial mexicana (NOM-243-SSA1-2010) establece que esta debe presentar sabor, color y olor característicos de la leche. Mientras que, en los aspectos sanitarios, la leche cruda debe presentar ausencia de cualquier sustancia y microorganismos que pongan en riesgo la salud del consumidor, tal como coliformes totales, mismos que pueden estar presentes en ≤ 10 UFC/mL, como máximo permitido, para que la leche se considere apta para el consumo humano. La norma oficial mexicana (NOM-243-SSA1-2010) prohíbe la elaboración, venta y comercialización de quesos frescos elaborados a partir de leche cruda sin tratamiento térmico, el cual debe de ser de 63° C durante 30 minutos, en el entendido que este tratamiento garantiza la inocuidad del subproducto terminado. De acuerdo con la NOM-243-SSA1-2010 la leche debe presentar prueba de inhibidores bacterianos negativos para derivados clorados, sales cuaternarias de amonio, oxidantes, formaldehído y antibióticos (NOM-243-SSA1-2010).

Entre los componentes de mayor importancia de la leche se destaca la proteína, lactosa, grasas, vitaminas y minerales. Las proteínas son los compuestos orgánicos más valiosos y complejos de la leche, siendo las caseínas las más importantes por ser dominantes en cantidad, estas proteínas forman polímeros fácilmente como todas las proteínas con diversos tamaños de grupos de moléculas y se les conocen como micelas de caseína, estas se encuentran en suspensión en la leche y son responsables del color blanco de la leche y de algunos quesos. Las proteínas en la leche se encuentran en concentraciones que pueden variar entre 2.9% y 3.5%, en general estas se clasifican en dos grandes grupos: caseínas (80%) y proteínas séricas (20%). Las caseínas son las proteínas más abundantes, además de ser las más característica de la leche por no encontrarse en otros alimentos, el valor nutricional de las caseínas se encuentra en los aminoácidos esenciales (Agudelo y Bedoya, 2005). Entre las proteínas séricas o también llamadas proteínas del lactosuero se comprenden dos tipos de proteínas nativas: lactoglobulina y lactoalbúmina; la fracción proteasa-peptona (derivada de la hidrólisis de la caseína) y pequeñas cantidades de proteínas de origen sanguíneo: seroalbúmina e inmunoglobulinas (Díaz, 2010).

Las micelas de caseína están formadas por complejos coloidales calcio-proteína, se ha determinado que la micela de caseína se construye a partir de agregados esféricos de las caseínas individuales (submicelas), estas partículas se unen al calcio y secuestran fosfato inorgánico para producir la micela de caseína, las partículas de proteína se mantienen unidas por enlaces calcio-fosfato (Farrell *et al.*, 2002). Alrededor del 33% del calcio en la leche es ultrafiltrable, del cual el 56% es iónico (deMan y Batra 1964). Los minerales en la leche se presentan en dos estados: disolución y coloidal. En el estado de disolución se encuentran los cloruros, fosfatos solubles e indicios de sulfatos, yoduros, fluoruros y bromuros, el sodio y potasio,

además, también se encuentra parte de calcio. En tanto, dentro de la fase coloidal, los minerales que se encuentran en mayor proporción son el calcio y el fósforo, que se encuentran formando las micelas de fosfocaseinato cálcico, dicha sal disminuye su solubilidad a medida que se incrementa la temperatura, hasta que a temperaturas altas comienza a precipitar produciendo coagulaciones defectuosas. El calcio se encuentra en una concentración de 117.7 mg/100g en la leche, de la cual 81,1 están en estado coloidal y 36,6 en estado soluble (Rodríguez, 2004). La leche contiene diferentes minerales con una concentración total inferior al 1%, se encuentran disueltos en el suero de la leche o formando compuestos con la caseína, los minerales en formas de sales más abundantes e importantes de la leche son las sales de potasio y de calcio, el transporte de minerales en vacas u otros animales productores de la leche, se da por medio de sistemas de transportes activos pasando de la sangre a la leche; en una leche sin alteraciones, el 65% del calcio, el 60% del magnesio y el 50% del fósforo se encuentran asociados a caseínas en forma coloidal (Cerón y Correa, 2005). En el suero de leche, el calcio puede estar presente en tres compuestos químicos diferentes, unido a proteínas, en complejo con lactosa, fosfato y otros minerales (calcio coloidal) y/o calcio iónico Ca^{2+} . Las propiedades funcionales de las proteínas del suero dependen estrictamente del equilibrio en las concentraciones del calcio en las tres formas disponibles en el suero. En la leche alrededor del 30% del calcio está presente como calcio iónico, el calcio aumenta el alcance de las interacciones proteína-proteína que pueden ocurrir durante el calentamiento de la leche (Carbonaro *et al.*, 2000).

La leche de vaca también contiene otros elementos como el sodio, potasio, magnesio, manganeso, hierro, cobalto, cobre, fósforo, fluoruros, yoduros y se ha registrado la presencia de otros en cantidades vestigiales, como el aluminio, molibdeno y plata.

Una parte de los metales, sobre todo los alcalinos y los halógenos, se encuentran libres en forma de iones en solución. En la membrana de los glóbulos grasos se encuentran en mayor concentración el calcio, cobre, hierro, magnesio, manganeso, fósforo y zinc (Agudelo y Bedoya, 2005).

Los carbohidratos de la leche están conformados en menor medida por polisacáridos libres y glúcidos combinados, en su mayoría por lactosa, que es un disacárido conformado por una molécula de glucosa y galactosa, la cual representa cerca del 4.9% en la leche de vaca (Zavala, 2005). Otro compuesto soluble en agua presente en la leche de vaca son las vitaminas. Aun cuando la leche contiene un importante aporte de vitaminas como la A, D, E, K, B1, B2, B6, B12, C, carotenos, nicotinamida, biotina y ácido fólico es pobre en niacina y ácido ascórbico (Agudelo y Bedoya, 2005; Zavala, 2005).

Los niveles de vitamina A en leche y el de su precursor, el caroteno, están propensos a ser más elevados en el verano, cuando la vaca lo consume abundantemente, debido a su alimentación más verde que en el invierno. Las diferentes razas varían en su capacidad para transformar el caroteno en vitamina A; la cual es liposoluble y se presenta en los productos lácteos en razón a su tenor de grasa (Zavala, 2005).

En cuanto a la grasa de la leche se establece que el elevado contenido en ácidos grasos saturados y colesterol ha sido indiscriminadamente utilizado como argumento para relacionar la ingesta de leche y sus derivados con una mayor incidencia de obesidad, diabetes tipo 2 y enfermedades cardiovasculares. De hecho, se insiste en recomendar el consumo preferente de productos lácteos con reducido contenido en grasa. Sin embargo, los estudios científicos más recientes sugieren que no existen evidencias contrastadas que justifiquen mantener tales recomendaciones en individuos sanos. Se ha demostrado que la grasa láctea constituye una fuente natural

de compuestos bioactivos (ácido butírico, ácido linoleico conjugado (CLA), fosfolípidos y esfingolípidos) cuyo beneficio potencial sobre la salud humana permitiría su aplicación comercial en el desarrollo de alimentos funcionales orientados a la prevención de enfermedades crónicas (Calvo *et al.*, 2014).

En términos generales la calidad de la leche cruda es el conjunto de características que determinan su grado de idoneidad para los fines previstos de tratamiento y empleo. En cuanto a la calidad de la leche para la elaboración del queso, es la suma de dos calidades, la calidad química y la calidad microbiológica, la cual se ve reflejada en la aptitud para elaborar un buen queso en las condiciones normales de trabajo y con un rendimiento satisfactorio. Los factores que influyen en la coagulación y que son inherentes a la leche son: el contenido en caseínas, los contenidos en calcio soluble y fosfato cálcico coloidal, el tamaño de las micelas y el pH (Tornadijo *et al.*, 1998). Independientemente del origen de la leche, las propiedades físicas del queso se rigen por la interacción entre las moléculas de caseína. Algunos de los factores que influyen en estas interacciones varían en función del tipo de queso, el grado de maduración, su composición química (en particular, el contenido de caseína y la distribución de la humedad y la grasa), el contenido de sal, pH y acidez (Ramírez y Vélez 2012).

Producción de queso en México

De acuerdo con la Norma General del CODEXS (2006) se entiende por queso el producto blando, semiduro, duro y extraduro, madurado o no madurado, y que puede estar recubierto, en el que la proporción entre las proteínas de suero y la caseína no sea superior a la de la leche y que es obtenido por coagulación (total o parcial) de la leche por medio de la acción del cuajo o de otros agentes coagulantes adecuados,

con un escurrido parcial del lactosuero. Para Macías *et al.*, (2019), los quesos son productos elaborados con la cuajada de la leche estandarizada y pasteurizada de vaca o de otras especies animales, que se obtiene por la coagulación de la caseína con cuajo, gérmenes lácticos, enzimas apropiadas y/o ácidos orgánicos comestibles. Ramírez y Vélez (2012), determinan que el queso es el producto obtenido por coagulación de la leche cruda o pasteurizada (entera, semidescremada y descremada), constituido esencialmente por caseína de la leche en forma de gel más o menos deshidratado.

El queso es un alimento de amplio consumo a nivel mundial, cuyas características nutritivas, funcionales, texturales y sensoriales difieren entre cada tipo. Se estiman más de 2000 variedades de queso, entre madurados, semi-madurados y frescos. No obstante, en México predomina el consumo de quesos frescos (Ramírez y Vélez, 2012) los cuales se caracterizan por ser productos con alto contenido de humedad, sabor suave y no tener corteza, pudiendo o no adicionar ingredientes opcionales y tener un periodo de vida de anaquel corto, con propiedades de desmoronamiento o fragmentación (Macías *et al.*, 2019).

El queso artesanal es apreciado por sus características nutricionales, atributos sensoriales y el proceso tradicional de elaboración; la calidad se atribuye a la aceptación de los consumidores y la gastronomía local, aunque este tipo de quesos generalmente no cumplen con la normativa de higiene en su fabricación y la de sanidad de los hatos lechero (Díaz *et al.*, 2017)

La fabricación de quesos representa la actividad más importante en la industria láctea, tan solo en el 2007 ocupó el tercer lugar en la industria alimenticia (Álvarez, 2016), la mayor parte de los quesos artesanales, incluidos los genuinos, son elaborados por industrias micro, pequeñas o medianas, generalmente ubicadas en rancherías y

pequeños pueblos empleando métodos rústicos, carentes de un control de calidad estricto, Las queserías de tipo artesanal en el país presentan una serie de problemas, entre las que se encuentra: el desconocimiento de la calidad de la materia prima (leche) y la ausencia de buenas prácticas de manufactura, mismas que originan productos de mala calidad y con una vida de anaquel inferior a la de los productos de la industria formal (Cesín-Vargas, 2014).

De acuerdo con Ramírez y Vélez (2012), existen diversos criterios de clasificación con base en las condiciones de proceso o las características fisicoquímicas del tipo de queso como se describe a continuación: a) Por contenido de humedad, se clasifican en quesos duros (20-42%), semiduros (44- 55%) y blandos o suaves (aprox. 55%). b) De acuerdo con el tipo de coagulación de la caseína, se clasifican en quesos de coagulación enzimática, quesos de coagulación ácida y quesos de coagulación ácida/térmica. c) De acuerdo con su estado de maduración: frescos (6 días), semi-madurados (40 días) y madurados (>70 días).

Norma General del CODEXS (2006), la denominación de queso se establece de acuerdo con sus características de consistencia y maduración de acuerdo con la Tabla 1.

Tabla 1. Denominación del queso según sus características de consistencia y maduración

Según su consistencia: Término 1		Según las principales características de maduración: Término 2
HSMG%	Denominación	
<51%	Extraduro	Madurado
49-56	Duro	Madurado por mohos
54-69	Firme/Semiduro	No Madurado/Fresco
>67	Blando	En Salmuera

La HSMG equivale al porcentaje de humedad sin materia grasa.

Se consideran como quesos frescos los siguientes: panela, fresco, ranchero, blanco, Oaxaca, asadero, adobera, requesón, queso crema, entre otros (Ramírez y Vélez, 2012). En cuanto al queso panela es un queso fresco de coagulación enzimática de pasta blanda y fresca, prensado por su propio peso, elaborado con leche entera pasteurizada suplementada con cloruro de calcio. Contiene alrededor de 53-58% de humedad, 19-25% de grasas, 18-20%, 1.3-1.8% de sal y un pH de 5.6 a 6.4 (Ramírez y Vélez 2012), tiene textura suave y delicada, es cremoso, y con un agradable sabor a leche fresca y sal (Villegas y Cervantes 2011). La NORMA oficial mexicana (2010), establece que la leche previa a la elaboración del queso panela se debe someter a un tratamiento térmico los cuales pueden ser: ebullición, pasteurización (lenta 63°C / 30 min o rápida 72°C / 15s), ultrapasteurización o esterilización (135°C a 149°C / 2 a 8s) o deshidratación (NOM-243-SSA1-2010).

La pasteurización de la leche origina una desnaturalización de las proteínas del suero de leche las cuales interactúan con la caseína (Colado, 2001), este tratamiento térmico de la leche previo a la elaboración del queso, puede causar disociación entre el pH de la caseína y las micelas de caseína; temperaturas de 70°C (como parte del proceso de pasteurización) genera más disociación entre la caseína de las micelas y el pH de caseína (Kort *et al.*, 2012).

La proteólisis es la degradación de las proteínas por acción del sistema proteolítico de las bacterias ácido lácticas (BAL), lo que produce péptidos y aminoácidos libres que posteriormente pueden ser absorbidos por las células (Smit *et al.*, 2005), la proteólisis en la leche y en productos lácteos puede causar efectos beneficiosos e indeseables, los posibles efectos perjudiciales de la proteólisis de la leche y los productos lácteos durante el almacenamiento pueden resultar de las proteinasas estables al calor producidas por microorganismos Psicrotrofos (Church *et al.*, 1983). Badui (2006), determinó que, durante el proceso térmico de pasteurización de la leche para la elaboración de quesos, las caseínas no sufren desnaturalización, por lo tanto, al añadirse una enzima como la quimosina, esta hidroliza la caseína (κ) provocando un aumento considerable del contenido de materia nitrogenada no proteica y estabiliza al resto de las caseínas en forma micelar. En presencia de minerales las micelas inestables forman una red de caseínas que gelifica cada vez más fuertemente formando un coágulo más o menos firme (Azán y Rodas 2016). Sin embargo, la β -lactoglobulina que se encuentra como dímero en la leche, al someter la leche a tratamientos térmicos, esta proteína se desdobra en sus monómeros con sus correspondientes sulfhidrilos expuestos, los cuales a su vez se asocian y agregan mediante iones calcio (Badui 2006).

En términos generales se puede establecer que, la leche sometida a altas temperaturas provoca tiempos de coagulación más largos y forma una cuajada más fina y débil, aspectos que provocan mayor retención de agua (Singh y Waungana, 2001). El queso panela es elaborado mediante la adición de cloruro de calcio y cuajo a la leche pasteurizada, el cloruro de calcio otorga mayor firmeza al cuajado y da un tiempo de coagulación constante (Adiana, 2011). Vinueza (2015), concluye que tanto los factores físicos (temperatura) y químicos, como la adición de cloruro de calcio en el proceso, influyen en el rendimiento y tiempo de vida útil del queso fresco. Además, los quesos frescos -como es el queso panela-, son caracterizados por su corta vida de anaquel, el queso panela elaborado con leche cruda tiene una vida de anaquel de 2 a 3 semanas (Pérez, 2017). El queso panela presenta una vida de anaquel limitada ya que tiene un contenido de humedad entre 50 y 60% y un pH inicial por arriba de 6 aún a temperaturas de refrigeración (Ochoa-Flores *et al.*, 2013) pero si la humedad de los quesos frescos es baja, la vida de anaquel aumenta (De Los Ángeles 2015). Elementos anteriores que determinan la importancia de establecer estrategias que permitan mejorar la calidad, el rendimiento y la vida de anaquel del queso panela.

Importancia de la Adición de cloruro de calcio a la leche para la elaboración de queso panela

El proceso de pasteurización (63° C 30 minutos) lleva consigo un proceso natural de descalcificación parcial de las caseínas en la leche, por lo que quedan menos iones de calcio disponibles para la coagulación en el proceso de elaboración de quesos, por lo que es necesario compensar dicha descalcificación (Azán y Rodas 2016). El cloruro de calcio es una sal que tiene un alto contenido de Ca (36% Ca) y una alta solubilidad en agua (Pathomrungruangsyounggul *et al.*, 2010), la presencia de iones calcio,

en cantidad suficiente, es indispensable para la floculación de las micelas de caseína modificadas por la acción del cuajo. Las micelas, después de la acción del cuajo, se muestran muy sensibles a los iones de calcio y pequeñas variaciones en la concentración de estos iones en las leches pueden afectar notablemente al tiempo de coagulación y a la dureza del gel. Habitualmente, el fenómeno de floculación sólo se produce si la leche contiene al menos una concentración de 1,5 a 2 mM de Ca^{2+} - Mg^{2+} . Leches pobres en calcio coagulan difícilmente y dan lugar a geles blandos, sin firmeza.; en el caso de las leches lentas, este cociente de calcio es inferior a 0,20, mientras que en las leches normales o rápidas es superior a 0,23 (Azán y Rodas 2016; Tornadijo, *et al.*, 1998).

Se ha establecido que la adición de Ca^{2+} reduce el tiempo de coagulación del cuajo de la leche, debido a la neutralización de los residuos cargados negativamente en la caseína, lo que aumenta la agregación de las micelas cuajadas y el rendimiento del queso (Lucey y Fox 1993), la evaluación de las propiedades de coagulación de la leche entera tratada bajo condiciones moderadas de temperatura, 10 minutos a 73 °C, el efecto del pH a (6.2-6.6) y la adición de CaCl_2 (200 y 600 mg/l), establece que los niveles de pH 6.4 y CaCl_2 adicionado de 400 mg L^{-1} , son la mejor condición seleccionada para no perder la aceptación del consumidor e incrementar el rendimiento quesero en 8.9% (corregido en base seca) (Sbodio *et al.*, 2010). Ustunol y Hicks (1990), establecen que la adición de 0.2% (alrededor de 1.8 mM) de cloruro de calcio a la leche para queso, aumenta la firmeza de la cuajada alrededor del 32%, la firmeza de la cuajada se puede incrementar hasta en un 81% cuando se adiciona 10 mM de cloruro de calcio. Lucey y Fox (1993) determinan que altas concentraciones de Ca añadido (> 10 mM) a la leche para queso, se tiene una disminución de la firmeza

del gel de la leche y que la acidificación de la leche aumenta la fuerza del gel para un máximo a aproximadamente pH 6,0 y un pH bajo disminuye la fuerza del gel.

En términos generales se ha determinado el efecto de la adición del cloruro de calcio a la leche para mejorar las propiedades fisicoquímicas en el proceso del cuajado y rendimiento del queso. Sin embargo, a nivel mundial, más personas están preocupadas por la salud e interesadas en las denominadas enfermedades prevenibles, como la cardíaca, cáncer, osteoporosis, entre otras. La industria de alimentos está aprovechando esto, reconociendo un mercado potencial e invirtiendo en investigación de compuestos nutraceuticos, desarrollo de nuevos productos y mercadeo. Estos productos caen en una categoría más grande llamada alimentos funcionales, los cuales pueden ser naturales o manufacturados y contienen compuestos bioactivos que pueden influenciar positivamente la salud humana (Restropo *et al.*, 2017). El aprovechamiento para la obtención de ingredientes nutraceuticos adicionados a la leche y sus derivados principalmente queso, no solo serían una estrategia viable para mitigar los impactos ambientales, sino que sumarían potencialidad y valor agregado para los productores de los sistemas familiares de producción de leche.

Las nuevas exigencias de los consumidores con respecto a calidad alimentaria (alimentos seguros y saludables) están cambiando la exigencia, de manera progresiva, de los mercados hacia los productos que además de calidad presenten características singulares (aroma y sabor que caracterizan a los quesos genuinos) que los diferencien de otros productos similares, tal como la quesería artesanal, misma que ofrece quesos frescos de pasta blanda, sabor suave y precios accesibles (Cesín-Vargas, 2014). Como se puede observar, en la producción de queso artesanal existen numerosos elementos que deben ser tomados en cuenta para producir este

tipo de producto con calidad, tanto desde el punto de vista de producción (rendimiento) como de la salud del consumidor. Sobre todo, en donde el consumidor ha puesto su atención en productos inocuos y regionales (Cesín-Vargas, 2014).

Dentro de los alimentos naturales que pueden ser parte de otros alimentos manufacturados, como sería el caso del queso artesanal, se encuentra el nopal (*Opuntia spp.*), mismo que contienen compuestos bioactivos que pueden influenciar positivamente la salud humana y animal. El nopal, es un alimento funcional ampliamente consumido y estudiado en México por su contenido de carbohidratos digeribles, fibra, antioxidantes (carotenoides y betalaínas, potenciales agonistas de TGR5), calcio, potasio, vitamina A, vitaminas del complejo B y vitamina C. Además, por su alto contenido en compuestos fenólicos y polifenólicos (80-90 mg/100g de peso seco) como quercetina, kaempferol, ácido ferúlico y nicotiflorino, entre otros (Bensadón *et al.*, 2010). Otro elemento de importancia del nopal, sobre todo cuando forma parte de un alimento procesado, es que los cladodios de esta cactácea poseen una considerable cantidad de minerales, los cuales podrían ser una estrategia en la elaboración de queso artesanal que permita incrementar la calidad (rendimiento) como en la salud del consumidor.

Minerales de Nopal

Una estrategia que han optado los productores de los SPF, ante la escasez de forraje principalmente en la época de estiaje, es el uso de plantas autóctonas, como es el nopal (*O. Ficus indica*); Ortiz *et al.*, (2012) determinaron que complementaron la dieta de vacas productoras de leche con 12 kg de *O. ficus indica* por día durante la época de estiaje permite un incremento de la producción láctea, mejora la calidad bacteriológica (disminución de UFC de coliformes totales y mesófilas aerobias) de

leche cruda y del queso fresco, además mejora la calidad organoléptica y el rendimiento del queso fresco. El nopal tiene propiedades hipoglucémicas e hipercolesterolémicas, antiinflamatorias, antígenotóxicas, hipotensas, inmunomoduladoras, antivirales, antioxidante y dichas propiedades son atribuidas principalmente a su contenido de fibra; el tipo de fibra que posee el nopal fundamentalmente es el mucílago que es de tipo soluble, es utilizado como alimento humano en diferentes presentaciones, como verdura cruda o cocida, en licuados mezclado con otros vegetales y frutas, adicionado a otros alimentos, o procesado (Rodiles-López, *et al.*, 2016). Es un forraje rico en minerales principalmente en calcio y potasio (Torres-Sales, A. 2010), se le atribuyen propiedades nutraceuticas, un bajo valor calórico y también alto contenido de fibra dietética (Santiago-Lorenzo *et al.*, 2016).

Por otro lado, los cladodios de nopal una de sus características importantes es el contenido de minerales: Ca (3.1 a 5.8%), K (3.5%), Mg (1%), Na (0.5%) y P (< 0.5%), están presentes como carbonatos, cloruros, sulfatos, oxalatos y fosfatos (Salem *et al.*, 2005; Ayadi *et al.*, 2009). Particularmente, la mayor proporción de minerales en los cladodios es calcio (3.1 a 5.8%) (Ayadi *et al.*, 2009).

Biodisponibilidad de calcio en nopal

Los carbonatos presentan mayor biodisponibilidad de calcio que los oxalatos, sin embargo, por cada oxalato presente en el nopal se secuestra un carbonato de calcio (Palacios *et al.*, 2016); en un ensayo *in vitro* se observó la disminución de biodisponibilidad de calcio del nopal, debido a la presencia de oxalatos (Nakata y McConn 2006). Guzmán y Chávez (2007), determinaron que los cladodios de nopal con respecto al porcentaje de cenizas aumentan con la edad; por consiguiente,

aumenta el contenido en minerales los cuales están en un porcentaje de Ca 0.042% (un mes de edad) y 0.339% (un año de edad), Na 0.0018% (un mes de edad) y 0.0183% (un año de edad), K 0.00098% (un mes de edad) y 0.145% (un año de edad), Fe 0.0792% (un mes de edad) y 0.322% (un año de edad).

Por otro lado, Contreras *et al.*, (2016) señalan que el calcio presente en el nopal, independientemente de su presentación (oxalato o carbonato) es biodisponible para el organismo y establece que la edad del cladodio entre 70 y 135 días de edad es la óptima para obtener la mayor cantidad de calcio biodisponible. El calcio en nopal, en las etapas tardías de desarrollo se encuentra en forma de carbonato de calcio (CaCO_3). Los cladodios en etapa de madurez temprana (25 días) no constituyen una buena fuente de calcio dietario, contrario a los cladodios de nopal en etapa de madurez tardía (100-135 días), donde se tiene una mayor cantidad de calcio disponible (CaCO_3) tanto como para absorción como nutrición, teniendo menor absorción de calcio en nopales de 25 días de edad (nopales de desarrollo temprano a partir del brote), efecto atribuido al contenido de oxalatos, el cual es más alto en etapas tempranas de desarrollo de nopal con respecto a las etapas tardías, (Hernández, 2017).

Retomando los aspectos de la producción de queso artesanal, la adición de cloruro de Ca^{2+} a la leche tiene efectos positivos en la fabricación de queso porque disminuye el tiempo de coagulación, crea geles más firmes y aumenta el rendimiento de la cuajada. La velocidad de agregación y la rigidez de los geles se mejoran mediante la adición de calcio, dando como resultado geles con diferentes propiedades viscoelásticas. La presencia o ausencia de átomos de Ca^{2+} iónicos lo que afecta el tiempo de coagulación del cuajo y la firmeza del gel, no la facilidad de disponibilidad o el tiempo de residencia en solución (Corredig,2013). De aquí que, si en la fabricación

del queso artesanal se incluye nopal deshidratado como fuente de calcio ¿el contenido y biodisponibilidad del calcio presente en el nopal deshidratado tendrá efectos sobre la calidad y cantidad del queso artesanal producido?

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿El calcio extraído de nopal (*opuntia ficus indica*) tendrá el mismo efecto que el cloruro de calcio adicionado a la leche pasteurizada sobre el rendimiento y la calidad del queso panela artesanal?

HIPÓTESIS

La adición de minerales extraídos del nopal a la leche cruda y pasteurizada permitirá una mayor segregación de micelas de la leche durante el proceso de floculación, lo cual se ve reflejado en un mayor rendimiento del queso panela artesanal.

OBJETIVO GENERAL

Comparar el rendimiento del queso panela artesanal con la adición de minerales extraídos de nopal verdura con el uso de CaCl_2 , tanto en leche cruda y leche pasteurizada.

OBJETIVOS PARTICULARES

1. Comparar el rendimiento del queso panela elaborado a partir de leche adicionada con minerales de nopal y adicionada con CaCl_2
2. Comparar el rendimiento del queso panela elaborado a partir de leche cruda y leche pasteurizada
3. Determinar las concentraciones de minerales (principalmente calcio) en los cladodios de nopal verdura, leche cruda, leche pasteurizada y queso panela artesanal elaborado con la adición de minerales de nopal y CaCl_2 y sin la adición a la leche cruda y pasteurizada.
4. Determinar los parámetros fisicoquímicos de la leche cruda y pasteurizada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del área de estudio

La elaboración del queso panela será realizada en la Posta de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UMSNH, ubicada en el municipio de Tarímbaro Michoacán y su posterior análisis en el laboratorio de alimentos de la Facultad de Químico Farmacobiología de la UMSNH.

Se estableció un diseño experimental factorial de 2X2 (dos tipos de leche: cruda y pasteurizada y dos tipos de calcio: cloruro de calcio (CaCl_2) grado alimenticio y mineral de nopal (MN)) y dos tratamientos (T) testigos: leche cruda (LC) y pasteurizada (LP). Se establecieron seis tratamientos: T1 LC; T2= LC+MN; T3= LC + CaCl_2 ; T4 = LP + MN; T5= LP + CaCl_2 y T6= LP. Cada tratamiento con tres repeticiones. Para cada repetición/tratamiento se utilizó 700 ml de leche cruda o pasteurizada de acuerdo con el tratamiento.

Determinación del contenido de calcio en los cladodios de nopal

La recolección de los cladodios de nopal verdura se realizó de la comunidad de la Concepción, se localiza en el Municipio Morelia del Estado de Michoacán de Ocampo México y se encuentra en las coordenadas GPS:

Longitud (dec): *-101.309722*

Latitud (dec): *19.703611*

La localidad se encuentra a una mediana altura de 2140 metros sobre el nivel del mar. La edad de los cladodios fue de 90-120 días aproximadamente, se realizó a las 7:00 h. Inmediatamente después de la recolecta, se lavaron y se desinfectaron con solución de hipoclorito de sodio 3% por 10 min. Después, se fraccionaron en cubos de aproximadamente de 2x2x2 cm cada cladodio/edad; el total de cubos se

mezclaron para hacer una muestra homogénea (pool), para la deshidratación por convección se utilizó un horno de secado de aire forzado (Ecoshell®) a temperatura de 105 °C. El cladodio deshidratado se pulverizó y tamizó (250 µm); posteriormente para la obtención de ceniza (minerales de nopal), se adicionaron dos gramos de nopal previamente deshidratado a crisoles (peso constante) y se procedió a carbonizar las muestras directamente en mechero (hasta que las muestras dejaron de producir humo), posteriormente las muestras se sometieron a combustión durante 3 horas a 550° C en horno de alta temperatura (mufla), después el mineral de nopal obtenido se almacenó en bolsas herméticas en desecadores hasta su posterior análisis. Las muestras para la determinación de minerales fueron analizadas por espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR). Para FT-IR, se utilizó un espectrofotómetro de Infrarrojo con Transformada de Fourier (Bruker, modelo Tensor 27) que se operó en un rango de 4000 a 400 cm⁻¹, con una resolución de 4 cm⁻¹, a una temperatura de 18.7° C con humedad relativa del 41%.

Procedimiento para la elaboración de queso

La leche se obtuvo del sector de Bovinos de leche de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UMSNH, de la primera ordeña. Para los tratamientos con leche pasteurizada se realizó el tratamiento térmico a una temperatura de 65°C por un tiempo de 30 minutos.

El proceso de la elaboración de queso se realizó para todos los tratamientos en recipientes de plástico con una capacidad de un litro, en los cuales se colocaron a baño maría para mantener la temperatura a 37°C de la leche, la cual fue controlada con un termostato. Posteriormente se adicionó el CaCl₂ y los MN para los tratamientos

correspondientes y se mantuvo una agitación manual por dos minutos en cada tratamiento, para después adicional 0.28 ml de cuajo (quimosina) líquido esterilizado® (CuamixMR), a cada muestra/T. El proceso de precipitación de las caseínas (20 min) se prosiguió al corte cada 1 cm y agitación, con una espátula, la cual se introdujo por una de las orillas del recipiente y se agitó manualmente dos veces en círculos, lo cual se realizó cada cinco minutos por un tiempo de 40 min. Posteriormente, la cuajada se colocó en un colador para el desuerado durante 20 minutos, garantizando el mismo porcentaje de lactosuero para cada muestra/T. Las muestras de queso inmediatamente se refrigeraron a 4°C por 24hrs.

Las variables para medir fueron: análisis fisicoquímico de la LC y LP, rendimiento de queso panela artesanal (QPA), humedad y materia seca del QPA y la concentración de calcio en LC, LP y en cada uno de los QPA de cada tratamiento.

Análisis fisicoquímico de la leche

El análisis fisicoquímico de la LC y LP (dos repeticiones para cada leche), se realizó mediante un analizador de leche ultrasónico (Lactoscan), los parámetros a evaluar fueron: Densidad, %Grasa, %Sólidos no grasos, %Lactosa, %Sólidos, %Proteína, %Agua agregada y punto Crioscópico. Se tomó una muestra de 5 ml del total de la leche cruda y se analizó en el Lactoscan, la cual se realizó por duplicado. Para la leche pasteurizada, las muestras se tomaron después del proceso de pasteurización cuando la leche tenía una temperatura de 37 °C, se repitió el mismo procedimiento de la leche cruda.

Rendimiento de los tratamientos

El rendimiento del queso se pesó inmediatamente después de su elaboración (que se consideró como cero horas post-elaboración) y a las 24hrs post-elaboración, en una balanza digital marca registrada. Se expresó como el volumen de leche necesario para producir un kg de queso $RQ = L/kg$

Determinación de humedad y materia seca

Para la determinación de humedad y materia seca de cada queso/tratamiento a las 24hrs post-elaboración, se tomó una muestra de dos gramos de queso/muestra/tratamiento y se determinó por secado a 105 °C durante 3 h.

Determinación de Calcio

La determinación de calcio se realizó en la LC y LP y en los quesos panela/repetición/tratamiento, se pulverizaron y tomaron 2 gramos por muestra de cada tratamiento (tratamiento/repetición) previamente deshidratado para la determinación de humedad y materia seca, para carbonizar directamente en mechero (hasta que dejaron de producir humo), posteriormente cada muestra se sometió a combustión a 550° C durante 3 horas para la obtención de ceniza.

La ceniza obtenida de los tratamientos de QPA, fue analizada por espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR). Para FT-IR, se utilizó un espectrofotómetro de Infrarrojo con Transformada de Fourier (Bruker, modelo Tensor 27) que se operó en un rango de 4000 a 400 cm^{-1} , con una resolución de 4 cm^{-1} , a una temperatura de 18.7° C con humedad relativa del 41%.

Análisis estadístico

El modelo matemático para rendimiento del queso será el siguiente:

$$y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta (rendimiento).

μ = Promedio general.

T_i = Tratamiento con i ésimo tratamiento = T1, T2, T3, T4, T5 y T6.

ε_{ijk} = Efecto aleatorio asociado con cada observación ($\sim NID = 0, \sigma^2_e$).

Las diferencias entre tratamientos se obtendrán a través de medias de mínimos cuadrados (LsMeans) a un $\alpha=0.05$ (Littell *et al.*, 2002). La información recabada se analizó a través de la metodología de análisis de varianza (Littell *et al.*, 2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentración de minerales en cladodios de nopal

Los resultados de la concentración de minerales en los cladodios de nopal se presentan en la Tabla 2, se observa que el 77.6 % de los minerales corresponde a la concentración de calcio y fósforo, seguido por la concentración de magnesio y cloro. Al respecto Torres-Ponce *et al.*, (2015) establecen que entre los minerales que contiene los cladodios de nopal, los principales son el calcio y el potasio además de magnesio, sílice, sodio y pequeñas cantidades de fierro, aluminio, y magnesio entre algunos otros. Salem *et al.*, (2005) y Ayadi *et al.*, (2009), establecen que los cladodios son una fuente rica de minerales de: Ca, 3.1 a 5.8%; K, 3.5%; Mg, 1%; Na, 0.5%. Por su parte Kalegowda *et al.*, (2015), determinan que la concentración de minerales en los cladodios de nopal depende de factores edafológicos en el cultivo, clima y de la edad de la planta, aunque la mayoría de los autores, establecen que la mayor concentración de minerales es de calcio en los cladodios de nopal, como se pudo observar en los resultados encontrados en esta investigación respecto al mayor porcentaje en el calcio.

Tabla 2. Determinación de la concentración de los minerales en los cladodios de nopal

Ca	K	Mg	Cl	Mn	S	P
43.7%	33.9%	8.60%	3.74%	2.12%	1.85%	1.78%
Fe	Sr	Ba	Si	Rb	Br	Ce
1.37%	0.519 %	0.367%	0.273%	0.131 %	651 PPM	111PPM

Determinación de la adición de minerales de nopal (MN) a la leche cruda (LC)

Los resultados obtenidos en la concentración de MN, se determinó la cantidad adicionar a la leche, como se describe a continuación: Se consideró la concentración del CaCl_2 (0.2gr; Vinueza, 2015), con grado alimenticio que se utiliza en la elaboración del queso con las siguientes características:

CaCl_2 Masa Molar: 110.984 g/mol

Ca Masa Molar: 40.078 g/mol

Cl_2 Masa Molar: (35,453 g/mol) *2

110.984g/mol \rightarrow 100%

40.078g/mol \rightarrow x

$$[40.078(100)] / 110.98 = \mathbf{36.1115\%}$$

De acuerdo con los valores anteriores la concentración de calcio en el CaCl_2 comercial con grado alimenticio es de 36.11% (Pathomrungsyounggul *et al.*, 2010), considerando la adición 0.28g de CaCl_2 /L de leche, lo que equivale a una concentración de 0.10 gramos de calcio/L de leche. A partir de la concentración del calcio -en el CaCl_2 comercial-, se determinó la concentración de la adición de minerales de nopal (43 % de calcio), la cual se trabajó con las mismas condiciones de dosificación (0.28g de MN/L de leche) que equivale a una concentración de 0.12 gramos de calcio/L de leche.

Análisis fisicoquímico de la leche cruda y pasteurizada

Los resultados del análisis fisicoquímico de la leche cruda y pasteurizada se muestran en el Tabla 3, donde se observa que el proceso de pasteurización lenta que se realiza (65 °C por 30 minutos) no generó ningún cambio en la composición fisicoquímica de

la leche. Resultados que concuerdan con lo establecido por Bille *et al.*, (2015), donde concluyen que el proceso de pasteurización de la leche a 63 °C durante 30 minutos es un método que resulta suficiente para destruir los patógenos y la mayor parte de la flora contaminante de la leche, pero no modifica sus características fisicoquímicas y no altera el proceso de fabricación del queso. La norma oficial (2012) establece que la leche debe contener un mínimo de 8.3% de sólidos totales, 3.1% de proteína cruda, 3.6% grasa y 4.7% lactosa (Canilec, 2011). Valores anteriores que indican que tanto la leche cruda como pasteurizada, se encuentran dentro de los estándares establecidos por la norma oficial, lo que indica la calidad de la leche para la elaboración del queso.

Tabla 3. Parámetros del análisis fisicoquímico de la leche cruda y pasteurizada

PARÁMETROS			Especificaciones establecidas por la NOM-155-SCFI-2012 concentraciones mínimas (mín.) y máximas (máx.) permitidas en leche pasteurizada
	LECHE CRUDA	LECHE PASTEURIZADA	
g/ml Densidad a 15° C	1029.61	1029.65	1029
%Grasa	3.585	3.55	3 mín.
%Sólidos no grasos	9.105	9.11	8.3 mín.
%Lactosa	4.645	4.65	4.3mín a 5.2 máx.
%Sólidos	0.67	0.67	
%Proteína	3.305	3.31	3 mín.
%Agua agregada	0.0	0.0	
P. Crioscópico	-0.5415	-0.541	Entre -0,510 (-0,530) y -0,536 (-0,560)

Rendimiento del queso panela artesanal

Los resultados del análisis de varianza mostraron un efecto ($p < 0.05$) del tratamiento sobre el rendimiento de queso panela artesanal a la hora cero y a las 24 horas post-elaboración (Tabla 3).

Tabla 4. Análisis de varianza para el rendimiento del queso panela artesanal a las cero y 24 horas post-elaboración de acuerdo con el tratamiento

Variable	SC	P
Rendimiento a las cero horas	6844.44	<.0001
Rendimiento a las 24 horas	5116.6667	<.0001

Existe un menor rendimiento a las 24 horas post elaboración respecto a las cero horas, debido al proceso natural de desuerado de los QPA por lo tanto hay una pérdida de peso.

La pérdida de humedad de los quesos frescos tiene efecto en el rendimiento, puesto que al pasar los días existe una disminución del rendimiento consecuente a la pérdida de suero en quesos frescos (Ochoa-Flores *et al.*, 2013).

Rendimiento del queso panela artesanal (QPA) a las cero horas post-elaboración

En cuanto al promedio del rendimiento del QPA a las cero horas post-elaboración, se observaron diferencias ($p < 0.05$) entre los promedios de los tratamientos. Para la leche cruda el tratamiento que logró mayor promedio en el rendimiento del QPA fue el adicionado con MN (T2), con una diferencia de 23.33 gramos más de rendimiento de queso, con respecto al promedio obtenido en el tratamiento de LC con CaCl_2 (T3), el cual fue igual ($p > 0.05$) con respecto al rendimiento del T1 (LC). Para los promedios de rendimiento de queso panela artesanal con leche pasteurizada, el mayor rendimiento se logró en el T4 (LP +MN) y fue diferente ($p < 0.05$) con respecto a los demás promedios de rendimiento de QPA de los tratamientos. Con una diferencia de

10 gramos más con el promedio obtenido con el tratamiento 5 (LP + CaCl₂), el cual fue igual ($p>0.05$) con el promedio del rendimiento del T6 (LP); (Gráfica 1).

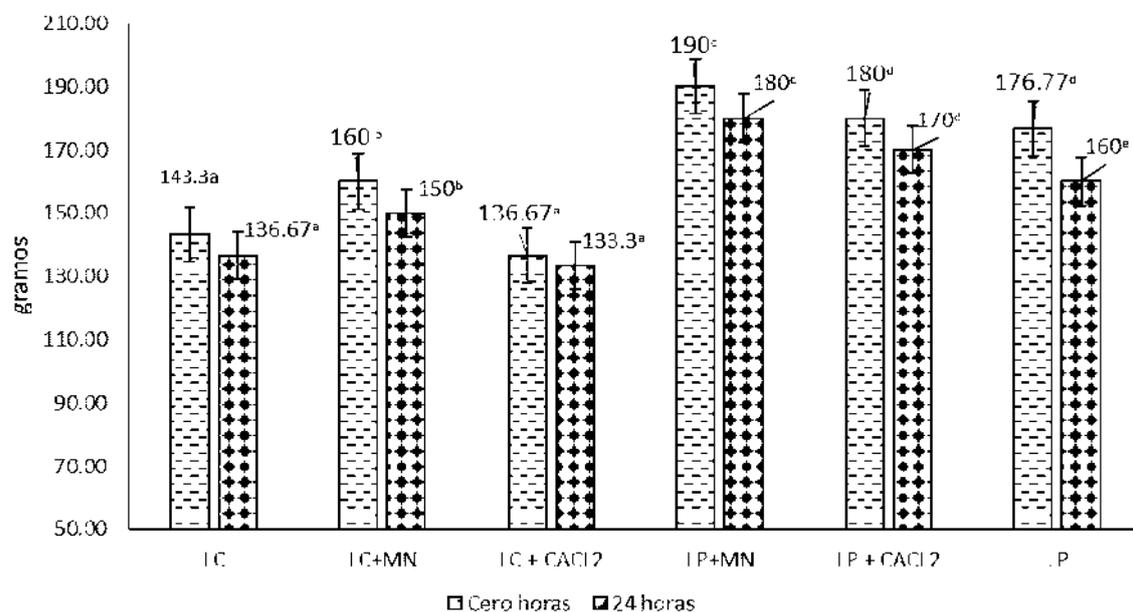
Los resultados respecto al rendimiento del QPA en esta primer etapa (cero horas) pueden estar determinados por el proceso de desuerado del queso, aunque todas las repeticiones de todos los tratamientos tuvieron los mismos tiempos de desuerado (20 minutos) en cada uno de los coladores, se observa que los quesos del T1 (LC), tienen una mayor pérdida de peso a las 24hrs (10grs) con respecto al T3 (LC + CaCl₂), con 6 gramos, lo que implica una mayor retención de suero a la hora cero y mayor rendimiento de queso. Azán y Rodas (2016) y Tornadijo, *et al.*, (1998), establecen que el fenómeno de floculación sólo se produce si la leche contiene al menos una concentración de 1.5 a 2 mM de Ca²⁺. Leches pobres en calcio coagulan difícilmente y dan lugar a geles blandos. Los resultados obtenidos en la concentración de calcio para la leche cruda utilizada en la presente investigación, fue de 1.71% de calcio (Tabla 5). Valor que se encuentra dentro del parámetro establecido para que se genere el proceso de floculación de la leche. En cuanto a los promedios de rendimiento del QPA encontrados en el T1 y T3 (LC y LC + CaCl₂, respectivamente), que fueron iguales ($p>0.05$) estadísticamente, Lucey y Fox (1993) determinan que altas concentraciones de Ca²⁺ añadido a la leche para la elaboración de queso, tiene como resultado una disminución de la firmeza del gel de la leche, posiblemente porque la unión excesiva de Ca²⁺ puede interferir con la formación adecuada del gel o puede reducirse la solubilidad de la caseína, factores anteriores que podrían explicar el resultado del promedio en el rendimiento del T3.

Rendimiento a las 24 horas post elaboración de queso

Para la leche cruda el tratamiento que logró mayor promedio en el rendimiento de queso panela artesanal a las 24 horas post elaboración fue el T2 (leche cruda + MN),

con una diferencia de 16.67 gramos más con respecto al promedio obtenido en el tratamiento de LC + CaCl₂ (T3), el cual fue igual ($p>0.05$) con el promedio del T1 (LC). Para los promedios de rendimiento de queso panela artesanal con leche pasteurizada, el mayor rendimiento se logró en el T4 (LP + MN) y fue diferente ($p<0.05$) a los demás promedios de rendimiento de QPA de los demás tratamientos. Con una diferencia de 10 gramos más con respecto al promedio del rendimiento obtenido con el T5 (leche pasteurizada adicionada con CaCl₂), el cual fue igual ($p>0.05$) con respecto al promedio del rendimiento del T6 (LP); (Gráfica 1).

Gráfica 1. Promedio del rendimiento del queso panela artesanal a las cero y 24 horas post elaboración de acuerdo con el tratamiento



Literales a, b, c, d y e diferentes ($p<0.05$)

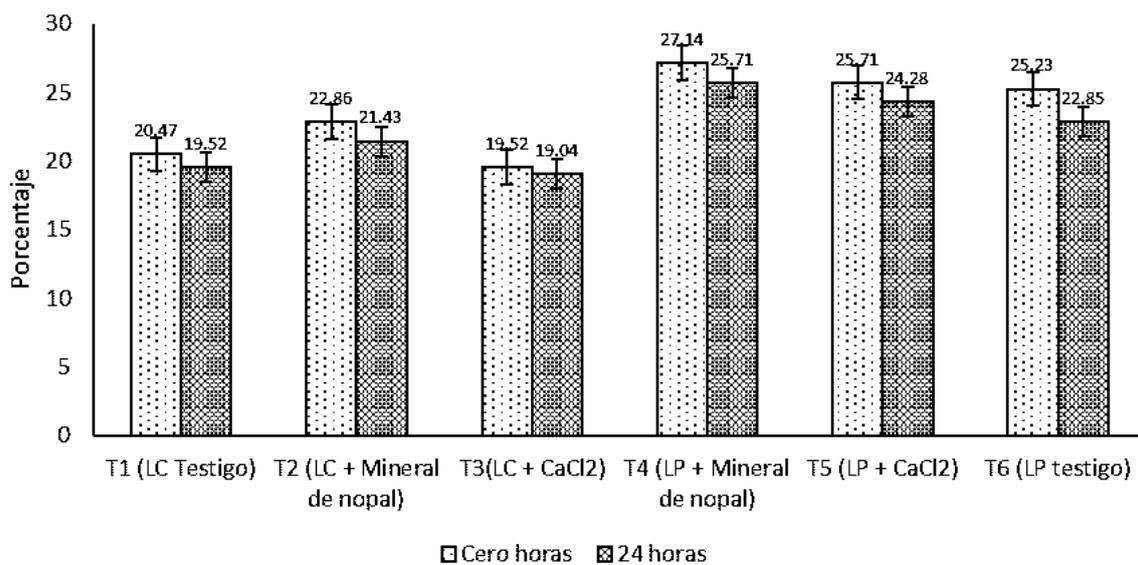
En términos generales el promedio del rendimiento del QPA elaborado con LP fue mayor (gráfica 1), resultados anteriores que coinciden con lo establecido por Borbonet *et al.* (2015) establecen que la leche pasteurizada a temperaturas de 65°C y 70°C

presentaron mayor rendimiento del queso, debido a que las albúminas y lactoglobulinas presentes en la leche empiezan a precipitar por acción térmica a partir de los 55 °C, por este motivo se obtendrán mayores rendimientos debido a una elevada aglomeración de esta proteína durante el proceso. Furtado y Brasil (2017) señalan que el tratamiento de pasteurización en la leche, desnaturaliza las proteínas séricas, como la β -lactoglobulina, que al ser desnaturalizada tiende a asociarse con la K-caseína, esto debido a que la β -lactoglobulina, al estar presente en forma de dímero se desdobla en sus monómeros con sus correspondientes sulfhidrilos expuestos (Badui, 2006), que al tener carga negativa se estabiliza por la acción de los iones de calcio con carga positiva (Lucey y Fox 1993), los cuales inducen a la interacción molecular entre proteínas (Wolfschoon-Pombo 1997) permitiendo que se asocien a la K-caseína, por lo tanto hay mayor rendimiento en leche pasteurizada, contrario a la leche cruda en la cual las proteínas séricas no se desnaturalizan por no haber tratamiento de pasteurización y no se pueden asociar a la k-caseína hidrolizada por la quimosina aplicada a la leche (Badui, 2006).

Con respecto, al mayor rendimiento del QPA con CaCl_2 vs MN, fue en el QPA con MN tanto en leche cruda como pasteurizada. Hernández (2017) determinó que los cladodios de nopal en etapa de madurez temprana (25 días) no constituyen una buena fuente de calcio dietario, contrario a los cladodios de nopal en etapa de madurez tardía (100-135 días), hay mayor cantidad de calcio disponible (CaCO_3) que en nopales de 25 días de edad (nopales de desarrollo temprano, efecto atribuido al contenido de oxalatos, el cual es más alto en etapas tempranas de desarrollo de nopal con respecto a las etapas tardías. Los MN fueron obtenidos de cladodios en una etapa de madurez tardía (90-120 días de edad), lo que indica que se podría tener una mayor

biodisponibilidad del calcio, lo cual se pudo ver reflejado en un mayor aumento en la agregación de las micelas cuajadas y el rendimiento del queso (Lucey y Fox 1993). Resultados anteriores que se vieron reflejados en la eficiencia del porcentaje de rendimiento de queso panela artesanal con la adición de MN tanto en la leche cruda como leche pasteurizada (22.82 y 27.14 % respectivamente), como se muestra en la Gráfica 2.

Gráfica 2. Porcentaje de rendimiento del queso panela fresco de acuerdo con el tratamiento



Resultados de la concentración de calcio en la materia prima (LC y LP) y en los tratamientos (QPA)

Los resultados del análisis de la concentración de calcio tanto en leche cruda como pasteurizada y en los QPA, mostraron un aumento del 39.18% de calcio en la LP con respecto a su control (LC). Casiraghi *et al.*, (1989), encontró un aumento del 9.6 % de calcio en leche pasteurizada con respecto a su control (LC), valor que no concuerda con el porcentaje del incremento del calcio obtenido en la LP de esta investigación. La mayor concentración de calcio se observa en los QPA elaborados con la adición de CaCl₂ (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis del porcentaje de calcio para la materia prima (LC y LP) y para los tratamientos

Tratamientos	LC	LP	QPA LC	QPA	QPA	QPA	QPA	
				LC+MN	LC+CaCl ₂	LP+MN	LP +CaCl ₂	QPA LP
% de Ca	1.71	2.38	2.61	1.93	3.16	2.43	3.07	3.41

La concentración de calcio final en cada tratamiento fue inversamente proporcional al rendimiento obtenido, posiblemente a que se encuentre menor biodisponibilidad de calcio libre, ya que forma los enlaces entre micelas y proteínas séricas formando parte de la estructura de la cuajada.

Porcentaje de humedad y materia seca del queso panela artesanal

Los resultados del análisis de varianza mostraron que no hay efecto ($p > 0.05$) del tratamiento sobre el porcentaje de humedad y Materia seca del QPA. En la Tabla 6 se observa, que los promedios del porcentaje de humedad de los QPA para todos los tratamientos tuvieron un rango de 57.95%-61.38%, valores que todos fueron iguales ($p > 0.05$). Por lo que cumplen con lo que establece CODEX (2006) para ser considerados queso no madurado/ fresco que deben tener humedad de 54 a 69% y también cumplen por lo establecido por Ochoa-Flores *et al.*, (2013) que para ser considerados queso panela deben tener una humedad entre 50 y 60%.

Tabla 6. Promedios del porcentaje de humedad en cada tratamiento (tratamiento/6 repeticiones)

Tratamientos	Porcentaje de humedad %	Porcentaje de materia seca%
T1 (LC Testigo)	58.51 ^a	41.48 ^a
T2 (LC + Mineral de nopal)	61.12 ^a	38.87 ^a
T3(LC + CaCl ₂)	61.39 ^a	38.61 ^a
T4 (LP + Mineral de nopal)	59.25 ^a	40.74 ^a
T5 (LP + CaCl ₂)	57.95 ^a	42.04 ^a
T6 (LP testigo)	57.80 ^a	42.20 ^a

Valores anteriores del porcentaje de humedad, muestran que el rendimiento de QPA podría estar determinado por una mayor disponibilidad de átomos de Ca²⁺ presentes tanto en la leche como en el nopal, ya que de acuerdo con Correding, (2013), la presencia o ausencia de átomos de Ca²⁺ afecta el tiempo de coagulación del cuajo, la firmeza del gel y el rendimiento. Por otro lado, también se podría establecer que el Ca²⁺ de los MN tienen una mayor capacidad para neutralización los residuos cargados negativamente en la caseína, lo que aumenta la agregación de las micelas cuajadas y el rendimiento del queso de acuerdo con lo establecido por Ramasubramanian *et al.*, (2013).

Vinueza (2015) establece que la adición de CaCl₂ influye en el rendimiento del queso fresco. Lucey y Fox (1993) determinan que la adición de calcio (Ca²⁺) incrementa la firmeza del gel y rendimiento del queso. Wolfschoon-Pombo (1997), concluye que la adición de Ca²⁺ a la leche, neutraliza las cargas negativas de la caseína y además conduce a interacciones moleculares de la caseína que incrementan la formación de partículas de la cuajada debido a la rapidez de agregación en la coagulación de la leche, elementos anteriores que están relacionados con el rendimiento del queso. Ustunol y Hicks (1990), establecen que la adición de CaCl₂ a la leche para queso, aumenta la firmeza de la cuajada alrededor del 32% y por lo tanto el rendimiento del

queso. Aspectos anteriores que se pudieron ver reflejados en los resultados obtenidos en esta investigación con la adición de MN y CaCl_2 , y su efecto en el rendimiento del queso panela artesanal

CONCLUSIONES

El proceso de pasteurización 65 °C por 30 minutos (proceso de pasteurización lenta) no tiene cambios en los parámetros fisicoquímicos de la leche pasteurizada. El rendimiento del queso panela artesanal se incrementa con un proceso de pasteurización lento de la leche cruda. La adición de minerales extraídos de nopal tanto en leche cruda como en leche pasteurizada permite un mayor rendimiento en el queso panela artesanal, sin embargo, la concentración de calcio en los quesos panela artesanal es mayor con la adición de CaCl_2 .

LITERATURA CITADA

Adiana, G. F. (2011). Análisis fisicoquímico de: Queso Asadero, Queso Panela y Queso Doble Crema, en la empresa Lácteos de Chiapas SA de CV.

Agudelo-Gómez, A y O. Bedoya (2005) Composición nutricional de la leche de ganado vacuno. Revista Lasallista de Investigación, Corporación Universitaria Lasallista Antioquia, Colombia. 2 (1): 38-42

Álvarez Alejandre Angélica María, (2016). Efecto de la adición de epidermis de nopal (*Opuntia ficus-indica*) a la leche sobre la calidad microbiológica y rendimiento del queso fresco artesanal. Tesis de Licenciatura. Facultad de Agrobiología "Presidente Juárez"-UMSNH. Morelia Michoacán. p. 8.

Ayadi, M. A., W. Abdelmaksoud, M. Ennouri & H. Attia (2009). Cladodes from *Opuntia ficus indica* as a source of dietary fiber: Effect on dough characteristics and cake making. *Industrial Crops and Products*, 30(1), 40-47.

Azán Pinta, I. M., & C. V. Rodas Heredia (2016). Evaluación del grado de desnaturalización de la proteína, calcio y fósforo de la leche durante el calentamiento utilizando un número de combinaciones de tiempo/temperatura y su influencia en la calidad y rendimiento del queso fresco elaborado Bachelor's thesis, Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo. p. 23.

Badui Dergal S. (2006). QUIMICA DE LOS ALIMENTOS (4a. ed.). MEXICO: PEARSON EDUCACION.

Bensadón, S., D. Hervert-Hernández, S. G. Sáyago-Ayerdi, & I. Goñi (2010). By-products of *Opuntia ficus-indica* as a source of antioxidant dietary fiber. *Plant foods for human nutrition*, 65(3), 210-216.

Calvo, M. V., P. Castro-Gómez, A. M. García-Serrano, L. Rodríguez Alcalá, M., M. Juárez & F. J. Fontecha (2014). Grasa láctea: una fuente natural de compuestos bioactivos.

CANILEC (Cámara Nacional de Industriales de la Leche). (2011). El Libro Blanco de la Leche y los productos lácteos. México

Camacho-Vera, J. H., F. Cervantes-Escoto, M. I. Palacios-Rangél, F. Rosales-Noriega, y J. M. Vargas-Canales, (2017). Factores determinantes del rendimiento en unidades de producción de lechería familiar. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8 (1): 23-29.

Carbonaro, M., M. Lucarini, y G. Di Lullo, (2000). Composition and calcium status of acid whey from pasteurized, UHT-treated and in-bottles esterilized milks. *Food/Nahrung*, 44(6): 422-425.

Cerón, J. M., & H. J. Correa, (2005). Factores nutricionales que afectan la producción de la leche. *Fondo Editorial Biogénesis*, 229-261.

Cesín-Vargas, A. (2014). La leche y los quesos artesanales en México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 11(2): 243-248.

Church, F. C., H. E. Swaisgood, D. H. Porter, & G. L. Catignani, (1983). Spectrophotometric assay using o-phthaldialdehyde for determination of proteolysis in milk and isolated milk proteins. *Journal of dairy science*, 66(6): 1219-1227.

CODEX Alimentarius (2006) Norma General Para El Queso (CXS 283-1978)

Corredig S. y M, Sandra, (2013). Rennet induced gelation of reconstituted milk protein concentrates: The role of calcium and soluble proteins during reconstitution. *International Dairy Journal* 29 (2013) 68-74.

Colado, J. M. P. (2001). Efecto de la utilización de distintos cultivos iniciadores en la proteólisis del queso manchego. Otros aspectos de la maduración (Doctoral dissertation, Universidad de Castilla-La Mancha).

Contreras, P. M., G. M. E. Rodríguez, C. E. Gutiérrez, B. M. Valderrama, del C., M. J. I. Rojas, y M. E. M. Rivera (2016). Physicochemical and rheological characterization of *Opuntia ficus mucilage* at three different maturity stages of cladode. *European Polymer Journal*, 78: 226-234

De Los Ángeles, C. C. M. (2015) Fundamentos en la elaboración de queso, Universidad Autónoma del Estado de México Facultad de Química.

De Man, J. M., y S. C. Batra. (1964). Effect of certain salts on the stability of skim milk as determined by rennet coagulation time and alcohol test. *J. Dairy Sci.*, 47: 954.

Díaz Galindo, E. P., B. Valladares Carranza, A. D. C. Gutiérrez Castillo, C. M. Arriaga Jordán, B. Quintero-Salazar, P. Cervantes Acosta, & V. Velázquez Ordoñez, (2017). Caracterización de queso fresco comercializado en mercados fijos y populares de Toluca, Estado de México. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 8(2): 139-146.

Díaz Lezama D. (2010). COMPORTAMIENTO Y EVALUACIÓN DE LAS PROTEÍNAS DE LA LECHE (CASEÍNA Y DEL LACTOSUERO) FRENTE AL TRATAMIENTO TÉRMICO Y pH. [Trabajo en red]. Recuperado el 21 de diciembre de 2018 de: <https://docplayer.es/22971365-Comportamiento-y-evaluacion-de-las-proteinas-de-la-leche-caseina-y-del-lactosuero-frente-al-tratamiento-termico-y-ph.html>

Farrell, H.M., T.F. Kumosinski, E.L. Malin, y E.M. Brown, (2002). Las caseínas de la leche como proteínas fijadoras de calcio. *Protocolos de proteínas de unión a calcio*, 97-140.

Fuentes, C.G., R.R.A. Ruiz, G.J.I Sánchez, R.D.N. Ávila y S.J. Escutia, (2013). Análisis microbiológico de leche de origen orgánico: atributos deseables para su transformación. *Agricultura, sociedad y desarrollo* 10(4): 419-432

Furtado, M. M., & D. Brasil Ltda. (2017). El rendimiento de la fabricación de quesos: Métodos para evaluación y comparación. *Revista Perú Láctea*, 1-12.

García, L. A. (2005). La globalización productiva y comercial de la leche y sus derivados: articulación de la ganadería intensiva lechera de la Comarca Lagunera. Plaza y Valdés. p.p. 278

Guinee, T. P. (2021). Effect of high-temperature treatment of milk and whey protein denaturation on the properties of rennet-curd cheese: A review. *International Dairy Journal*, 105095, 121.

Guzmán, D. y J. Chávez (2007). Estudio Bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. *Revista sociedad química Perú*, (73)1: 41-45.
Hernández-Becerra, E. (2017). Biodisponibilidad del calcio presente en la especie *Opuntia ficus indica* en diferentes etapas de desarrollo para la formación de masa ósea en un modelo de ratas en crecimiento. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Querétaro. Santiago de Querétaro. México. 90pp

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Consultado en:
<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geodesia/default.aspx>

Kalegowda P., D. J. Haware, S. Rajarathnam, & M. N. Shashirekha (2015). Minerals of cactus (*Opuntia dillenii*): cladode and fruit. *Current Science*, 2295-2298.

Kort, E., M. Minor, T. Snoeren, T. van Hooijdonk, & E. van der Linden (2012). Effect of calcium chelators on heat coagulation and heat-induced changes of concentrated micellar casein solutions: The role of calcium-ion activity and micellar integrity. *International Dairy Journal*, 26(2): 112-119

Latham, M. C. (2002) Colección: FAO Nutrición humana en el mundo en desarrollo, recuperado de: <https://www.fao.org/3/w0073s/w0073s0b.htm#bm11x> Ultimo acceso: 7 de Julio de 2022

Lucey, J. A., & P. F. Fox, (1993). Importance of calcium and phosphate in cheese manufacture: A review. *Journal of Dairy Science*, 76(6): 1714-1724

Macías Mejía B. Aa., J.A. Gómez Salazar, A.I. Mireles, G. Arriaga Rodríguez Hernández (2019). Determinación de parámetros Físicoquímicos y Sensoriales De Queso Fresco De La Ciudad De Irapuato. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol.4 (2019): 531-737.

Marín Chávez, T. (2019). Consumo de lácteos en infantes de seis meses hasta los tres años de edad. Tesis. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca. Perú. 77 pp.

Nakata, P.A. y M.M. McConn (2006). A genetic mutation that reduces calcium oxalate content increases calcium availability in *Medicago truncatula*. *Functional plant biology*, 33 (7), 703-706.

Moreno G. A., A. G. Herrera, G. M. Carrión, B. D. Álvarez, S. R. Pérez y R. R. Ortiz (2012). Caracterización y modelación esquemática de un sistema familiar de bovinos productores de leche en la Ciénega de Chapala, México. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Michoacán, Instituto Politécnico Nacional. Jiquilpan, Michoacán, México (20) Núm. 3-4: 85-94

NORMA Oficial Mexicana (2010) Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba. (NOM-243-SSA1-2010)

<https://dof.gob.mx/normasOficiales/4156/salud2a/salud2a.htm> Último acceso: 9 de Julio 2022

NORMA Oficial Mexicana (2012) Leche-Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba. (NOM-155-SCFI-2012)

<https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4692/seeco/seeco.htm>

Ochoa-Flores, A. A., J. A. Hernández-Becerra, E. López-Hernández & H. S. García-Galindo (2013). Rendimiento, firmeza y aceptación sensorial de queso panela adicionado con estabilizantes. Universidad y ciencia, 29(3): 277-286.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2014. Hacia una agricultura familiar más fuerte En: Plataforma de conocimientos sobre agricultura familiar recuperado de: <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/1169739/> Último acceso: 4 de Julio de 2022

Ortega, A. E., A. Á. Macías, M. D. C. Del Valle, y M. Chauvete (2005). La economía de los sistemas campesinos de producción de leche en el Estado de México. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 43(1): 39-56.

Ortiz, R. R., A. J. J. Valdez, R. B. Gómez, M. J. López, M. M. P. Chávez, S. P. A. García y S. R. E. Perez (2012). Yield and microbiological quality of raw milk and fresh cheese obtained from Holstein cows receiving a diet supplemented with nopal (*Opuntia ficus-indica*). African Journal of Microbiology Research 6: 3409-3414.

Palacios, F. A. J., G. C. De Lira, A. Del Real y G. M. E. Rodríguez, (2016). Distribución y densidad de cristales de oxalato de calcio en cladodios de *Opuntia streptacantha* en función de su peso. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos. (1) 1: 389-394

Pathomrungsyounggul P., M. J. Lewis, & A. S. Grandison (2010). Effects of calcium-chelating agents and pasteurisation on certain properties of calcium-fortified soy milk. Food Chemistry, 118(3), 808-814.

Pérez Esteban, G. (2017). Caracterización del queso panela oreado de Soyatlán, Jalisco. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Estado de México.

Quadratín (2017) Michoacán produce más de 121 millones de litros de leche: Sedrua, (06/06/2022) Recuperado de: <https://www.quadratin.com.mx/sucesos/michoacan-produce-121-millones-litros-leche-sedrua/> Último acceso: 28 de junio de 2022

Quintero S. B. (2010). Reseña del libro: Los quesos mexicanos genuinos: Patrimonio cultural que debe rescatarse. Culinaria Revista Virtual Gastronómica. Núm. 6. UAEM. pp. 53-59

Ramasubramanian, L., Webb, R., D'Arcy, B., & Deeth, H. C. (2013). Characteristics of a calcium–milkcoagulum. Journal of food engineering, 114(2), 147-152.

Ramírez-López, C., & J. F. Vélez-Ruiz (2012). Quesos frescos: propiedades, métodos de determinación y factores que afectan su calidad. Temas selectos de ingeniería de alimentos, 6(2): 131-148.

Restropo-Flórez, C. E., H. H. Estrada-López y H. G. Saumett-España. (2017) Nutraceuticos y alimentos funcionales: una revisión de oportunidades. Productos de confitería nutraceutica. Una opción empresarial para cultivadores de frutas y hortalizas. Barranquilla: Universidad Simón Bolívar. (pp.141-178).

Rodiles-López, J. O., R. A. Manivel-Chávez, R. Zamora-Vega y H. E. Martínez-Flores (2016). Elaboración de una botana de nopal obtenida por deshidratación osmótica. Superficies y vacío, 29(2): 49-54

Rodríguez, C. A. C. (2004). Proteína Total, Calcio, Fósforo y Estabilidad Térmica de la Leche y su Relación con las Variantes Genéticas de κ -Caseína. Época de Invierno (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE).

Rojas-Castro, W. N., A. Chacón-Villalobos y M. L. Pineda-Castro, (2007). Características del yogurt batido de fresa derivadas de diferentes proporciones de leche de vaca y cabra. Agronomía Mesoamericana. Costa Rica

SADER-Gobierno de México, Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. recuperado de: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/sector-lechero-vital-en-el-desarrollo-economico-social-y-alimentario-del-pais-agricultura#:~:text=Para%20el%20Gobierno%20de%20M%C3%A9xico,Desarrollo%20Rural%2C%20V%C3%ADctor%20Villalobos%20Ar%C3%A1mbula.> Último acceso: 4 de Julio de 2022

Salem, B. H., H. Abdouli, A. Nefzaoui, A. El-Mastouril, Ben Salem (2005). Nutritive value, behaviour, and growth of Barbarine lambs fed on oldman saltbush (*Atriplex nummularia* L.) and supplemented or not with barley grains or spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* f. *inermis*) pads. Small Ruminant Research, 59(2-3), 229-237.

Sánchez, Tania, L. Lamela, O. López, & M. Benítez, (2015). Influencia del probiótico Sorbifauna en la producción y calidad de la leche de vacas mestizas en pastoreo. Pastos y Forrajes, 38(3), 183-188.

- Santiago-Lorenzo, M., A. López-Jiménez, C. Saucedo-Veloz, J. I. Cortés-Flores, D. Jaén-Contreras y J. Suárez-Espinosa (2016). Composición nutrimental del nopal verdura producido con fertilización mineral y orgánica. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(4): 403-407.
- Sbodio, O. A., E. J. Tercero, M. S. Zannier y G. R. Revelli, (2010). Tratamiento térmico de leche: influencia del pH y CaCl₂ en la elaboración de queso Cuartirolo. *Información tecnológica*, 21(5): 107-116.
- Singh, H., y A. Waungana, (2001). Influence of heat treatment of milk on cheese making properties. *International Dairy Journal*, 11(4-7): 543-551.
- Smit, G., B. A. Smit, & W. J. Engels, (2005). Flavour formation by lactic acid bacteria and biochemical flavour profiling of cheese products. *FEMS microbiology reviews*, 29(3): 591-610.
- Tornadijo M. E., A. I. Marra, M. C. García Fontán, B. Prieto y J. Carballo (1998). La calidad de la leche destinada a la fabricación de queso: calidad química milk quality for cheese production: chemical quality a qualidade da leite destinada a fabricação de queixo: qualidade química, *CYTA – Journal of Food*, (2)2: 79-91.
- Torres-Sales, A. (2010). Composición química del nopal y sus implicaciones en la nutrición de rumiantes (experiencias Brasil). *Revista salud pública y nutrición*, 5, 143-151
- Torres-Ponce, R. L., Morales-Corral, D., Ballinas-Casarrubias, M. D. L., & Nevárez-Moorillón, G. V. (2015). El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(5), 1129-1142.
- Troncoso, A.H. (2014). Producción de leche y biosíntesis. Entorno Ganadero Dpto. de Nutrición Animal y Bioquímica, FMVZ, UNAM. BM Editores. No 44.
- Ustunol, Z., & Hicks, C. L. (1990). Effect of calcium addition on yield of cheese manufactured with *Endothia parasítica* protease. *Journal of dairy science*, 73(1), 17-25.
- Villegas A. y F. Cervantes (2011) La genuinidad y tipicidad en la revalorización de los quesos artesanales mexicanos. *Estudios Sociales* 19 (38):146-164
- Vinueza Tituaña, S. R. (2015). Influencia de la temperatura de pasteurización, coagulación y de cloruro de calcio en el rendimiento de queso fresco elaborado a partir de leche de vaca (Bachelor'sthesis).
- Wolfschoon-Pombo, A. F. (1997). Influence of calcium chloride addition to milk on the cheese yield. *International DairyJournal*, 7(4): 249-254.
- Zavala P., J. M. (2005). Aspectos nutricionales y tecnológicos de la leche. DGPA.: 13-14 recuperado de:
https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3_uibd.nsf/7AE7E7AB111562710525797D00789424/%24FILE/Aspectosnutricionalesytecnol%C3%B3gicosdelaleche.pdf Último acceso: 09 de Julio de 2022