

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS DE POSGRADO EN CIENCIAS
AMBIENTALES

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

**ANÁLISIS DE LA CALIDAD FISCOQUÍMICA Y SANITARIA DE LA LECHE EN EL
MUNICIPIO DE SAN LUIS POTOSÍ**

PRESENTA:

Ing. FLOR DE MARÍA TRISTÁN PATIÑO

DIRECTOR DE TESIS:

DR. GREGORIO ÁLVAREZ FUENTES

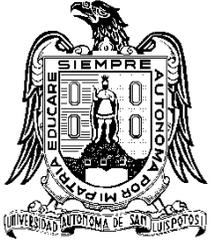
ASESORES:

DR. JUAN MANUEL PINOS RODRÍGUEZ

DRA. SILVIA ROMANO MORENO

FECHA

18 DE DICIEMBRE DE 2012



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

PROGRAMAS MULTIDISCIPLINARIOS DE POSGRADO EN CIENCIAS
AMBIENTALES

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES

**ANÁLISIS DE LA CALIDAD FISCOQUÍMICA Y SANITARIA DE LA LECHE EN EL
MUNICIPIO DE SAN LUIS POTOSÍ**

PRESENTA:

Ing. FLOR DE MARÍA TRISTÁN PATIÑO

COMITÉ TUTELAR:

DIRECTOR: DR. GREGORIO ÁLVAREZ FUENTES

ASESOR: DR. JUAN MANUEL PINOS RODRÍGUEZ

ASESOR: DRA. SILVIA ROMANO MORENO

SINODALES:

PRESIDENTE: GREGORIO ÁLVAREZ FUENTES

SECRETARIO: DR. JUAN MANUEL PINOS RODRÍGUEZ

VOCAL: DR. JUAN CARLOS GARCÍA LÓPEZ

CRÉDITOS INSTITUCIONALES

PROYECTO REALIZADO EN:

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE ZONAS DESERTICAS DE LA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ**

CON FINANCIAMIENTO DE:

FUNDACIÓN PRODUCE

**POR MEDIO DE LOS PROYECTOS DE VALIDACIÓN Y TRANSFERENCIA DE
TECNOLOGÍA. 24-2006-0683 Y 24-2009-0669**

**AGRADEZCO A CONACyT EL OTORGAMIENTO A LA BECA-
TESIS**

BECARIO No. 370070

**LA MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES RECIBE APOYO
ATRAVÉS DEL PROGRAMA NACIONAL DE POSGRADOS DE
CALIDAD (PNPC)**

Agradecimientos

A Dios que es el ser supremo, que siempre estará conmigo y que le debo todo a el.

A mis padres, aunque lejos siempre están orando por mi.

A mis hermanas por su apoyo y consejos. Las quiero mucho.

A mis sobrinos: Marijo y Nito, por las veces que me hacían reír en los momentos más desesperantes.

A mi tía Conchita por apoyarme en mi superación profesional y personal.

A Julio César, por estar siempre a mi lado, en las buenas y en las malas.

Al Dr. Gregorio Álvarez por el apoyo, comentarios, análisis y salidas a campo para la realización de este proyecto; pero sobre todo por brindarme su confianza.

Al Dr. Juan Manuel Pinos, por sus consejos, comentarios y apoyo en el transcurso del trabajo.

A la Dra. Silvia Romano, por sus correcciones y comentarios en la escritura del documento.

Al Dr. Juan Carlos García por los comentarios y recomendaciones para la elaboración del trabajo final.

A la Dra. Yolanda Jasso que siempre me apoyó en los problemas que se me presentaron en el laboratorio.

Al Dr. Juan Rogelio Aguirre, director del IIZD por sus consejos y por permitirme trabajar en este espacio.

A la Facultad de Ciencias Químicas, especialmente al personal de la Planta Piloto de Alimentos y al Dr. Jorge Ramírez Telles que me apoyaron en la realización de análisis en el laboratorio.

A los productores lecheros que me permitieron realizar los muestreos en sus establos.

A mis amigos por brindarme su apoyo y amistad.

A Hugo Suárez, Hugo Hernández, Oscar Guillen, Priscila, Yosa y Toño Rendón, por acompañarme en los muestreos.

A todo el personal del IIZD y del PMPCA por permitirme realizar mis estudios de posgrado.

Índice general

Índice general.....	1
Índice de cuadros.....	4
Índice de figuras.....	5
Resumen.....	6
1. Introducción.....	7
Justificación.....	9
Hipótesis.....	9
Objetivo general.....	10
Objetivos específicos.....	10
2. Revisión de literatura.....	11
2.1. Importancia de la leche en la alimentación humana.....	11
2.1.1 Composición de la leche.....	12
2.2.1. Componentes de la leche de vaca.....	13
2.2.1.1. Agua.....	13
2.2.1.2. Sólidos totales.....	13
2.2.1.3. Lactosa.....	13
2.2.1.4. Grasa.....	14
2.2.1.5. Proteínas.....	14
2.2.1.6. Vitaminas y minerales.....	15
2.3. Variación de la composición química de la leche.....	16
2.4. Calidad en leche.....	17
2.5. Aspectos que afectan la calidad de la leche.....	18
2.6. Mastitis.....	19
2.6.1. Concepto.....	19
2.6.2. Células somáticas.....	21
2.6.3. Agentes causantes de mastitis.....	21
2.6.3.1. Microorganismos contagiosos.....	22
2.6.3.2. Microorganismos ambientales.....	23
2.6.3.3. Microorganismos oportunistas.....	24

2.6.4.	La ordeñadora mecánica y su relación con la mastitis	25
2.6.5.	Pérdidas económicas	26
2.6.6.	Efectos de la mastitis en la calidad de la leche	27
2.6.7.	Efectos de la mastitis en salud pública	29
2.7.	Antibióticos en leche	30
2.8.	Sistemas de producción lechera en México	31
2.8.1.	Sistema de producción de lechería familiar	32
2.8.2.	Situación actual de la producción de leche en México.....	33
2.9.	Norma Oficial Mexicana. NOM-155-SCFI-2003, Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado. Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba.....	34
3.	Materiales y métodos	36
3.1.	Zona de estudio	36
3.2.	Ubicación geográfica.....	36
3.2.1.	Soledad de Graciano Sánchez	36
3.2.2.	Delegación Villa de Pozos	36
3.3.	Unidades de producción lechera.....	37
3.4.	Prevalencia de mastitis	38
3.4.1.	Obtención de muestras.....	38
3.4.2.	Prueba de California	38
3.4.3.	Análisis microbiológico.....	40
3.4.3.1.	Prueba de catalasa.....	40
3.4.3.2.	Prueba de coagulasa.....	40
3.5.	Análisis fisicoquímico de la leche.....	41
3.5.1.	Recolección de muestras.....	41
3.5.2.	Análisis fisicoquímico de la leche.....	41
3.5.3.	Sólidos totales (ST).....	42
3.5.4.	Cenizas	42
3.5.5.	Acidez titulable.....	42
3.5.6.	Lactosa	43
3.7.	Presencia de antibióticos	44

3.7.1. Recolección de muestras.....	44
3.8. Condiciones de manejo en las UPL	45
3.9. Análisis estadístico.....	46
4. Resultados y discusión.....	48
4.1. Prevalencia de mastitis	48
4.1.1. Distribución de mastitis en los cuartos mamarios	49
4.2. Presencia de células somáticas	51
4.3. Pruebas microbiológicas	52
4.4. Condiciones de manejo en las UPL	58
4.5. Calidad nutricional.....	65
4.6. Propiedades fisicoquímicas	68
4.7. Adulteración de la leche	71
4.8. Presencia de antibióticos en leche.....	72
5. Conclusiones	74
6. Literatura citada	76

Índice de cuadros

Cuadro 1. Composición de la leche de vaca	12
Cuadro 2. Presencia de minerales en leche de vaca	15
Cuadro 3. Composición de la leche de diferentes razas de vaca	17
Cuadro 4. Microorganismos causantes de mastitis	24
Cuadro 5. Especificaciones de la leche según la NOM-155-SCFI-2003	34
Cuadro 6. Interpretación de resultados del California Mastitis Test (CMT)	39
Cuadro 7. Variables a evaluar para las condiciones de manejo en las UPL de la zona de estudio	45
Cuadro 8. Prevalencia de mastitis en la zona de estudio y grados de infección de los cuartos mamarios	50
Cuadro 9. Promedio de contenido de células somáticas y disminución de la producción.....	52
Cuadro 10. Muestras positivas a las pruebas microbiológicas	53
Cuadro 11. Porcentaje de muestras de leche en las que hubo presencia de microorganismos en época lluviosa, fría y seca	55
Cuadro 12. Prácticas de limpieza e higiene en la UPL.....	59
Cuadro 13. Medias de los porcentajes de los componentes nutricionales en la leche producida en la zona de estudio	66
Cuadro 14. Medias de las propiedades fisicoquímicas y adulteración de la leche producida en la zona de estudio.....	69
Cuadro 15. Presencia de residuos de antibióticos en leche	73

Índice de figuras

Figura 1. Hemolisis en agar sangre producida por <i>Staphylococcus aureus</i>	56
Figura 2. Coagulación del medio (prueba positiva) para la identificación de <i>Staphylococcus aureus</i>	57
Figura 3. Prueba de catalasa. Presencia de burbujas al mezclar colonias del género <i>Staphylococcus</i> con peróxido de Hidrógeno (H ₂ O ₂).	57
Figura 4. Crecimiento de coliformes en agar sangre y MacKonkey	58
Figura 5. Lugar de ordeño en una de las UPL	64
Figura 6. Ordeño en los corrales	64
Figura 7. Lavado de la ubre con trapo de tela, antes del ordeño	64
Figura 8. Sellado de los cuartos mamarios	64
Figura 9. Recipiente de almacenamiento de la leche	65

Resumen

La leche es uno de los productos alimentarios más importantes en la dieta del humano; por este motivo los consumidores exigen que el producto que se les oferte cumpla con los estándares de calidad establecidos. En la leche, la calidad está determinada por el contenido de nutrientes que aporte y por el estado sanitario que asegure que el producto que se consuma no afecte la salud de la población. El objetivo del presente trabajo fue determinar la calidad nutricional, fisicoquímica y sanitaria de la leche que se produce en la zona conurbada del municipio de San Luis Potosí; así como las condiciones de manejo en las unidades de producción lechera (UPL), lo cual puede afectar la calidad en leche. Se realizaron muestreos de mastitis en los hatos lecheros de las UPL del municipio de Soledad de Graciano Sánchez y la delegación Villa de Pozos, S. L. P., mediante la prueba del California Mastitis Test y pruebas microbiológicas para identificar los microorganismos causales de dicha enfermedad; además se determinó la calidad nutricional y fisicoquímica de la leche, así como la presencia de residuos de antibióticos. Los resultados mostraron que hay mayor prevalencia de mastitis en la época fría, siendo el *Staphylococcus aureus* el agente con mayor porcentaje de aislamiento en las muestras de leche. Los valores de las propiedades nutricionales de la leche se encuentran dentro de lo que establece la norma, por el contrario las propiedades fisicoquímicas se ven afectadas por falta de equipo de enfriamiento y por adulteración en leche. La presencia de antibióticos disminuye la calidad sanitaria de la leche que se consume en la zona de estudio.

1. Introducción

La leche es uno de los productos de origen animal más importantes en la alimentación del ser humano, que aporta proteínas, grasas, carbohidratos, vitaminas y minerales los cuales son de fácil digestión, absorción y alto valor biológico para el organismo. Aunado a lo anterior, la proteína de la leche, es superior a la de cualquier otro alimento, ya que contiene todos los aminoácidos esenciales necesarios para la alimentación humana (Fox, 2009_a).

De acuerdo con Serfin (1995), en nuestro país la leche es una de las principales fuentes de suministro de proteína animal junto con la carne de pollo y de bovino, de tal manera que aportan aproximadamente el 62% del total de la proteína de origen animal que consume el pueblo mexicano lo cual es importante en la salud de la población ya que al incrementarse el consumo de productos lácteos, se mejora notablemente el estado nutritivo y la salud de los consumidores.

La leche es un producto altamente perecedero, por lo que es necesario un manejo adecuado, desde su obtención hasta su consumo y así asegurar que el consumidor adquiera un producto inocuo y de buena calidad. La calidad del producto que llega al consumidor, según Belloque *et al.* (2009) depende del control de calidad que se realice en la leche cruda, de las condiciones de transporte, conservación y manipulación hasta el lugar en donde se procesa.

En México, los sistemas de producción lechera son muy heterogéneos, desde los totalmente tecnificados, hasta los de producción familiar, donde el uso de tecnología es muy limitado. Éste último sistema aporta aproximadamente 9.8% de la producción total, caracterizándose por el uso de mano de obra familiar (reduciendo los costos de producción) y teniendo como destino centros de acopio,

la industrialización rústica casera o artesanal, el autoconsumo o la venta directa al consumidor de leche fluida, ya sea caliente o fría (Gallardo, 2005). Esta situación puede poner en riesgo la salud del consumidor, dado que en esta clase de mercado no se realiza el proceso de pasteurización de la leche (Ávila *et al.*, 2002). Por otro lado existen un conjunto de factores que se presentan en los sistemas de producción lecheros que pueden afectar la calidad nutricional, fisicoquímica y sanitaria de la leche, como el estado de salud de la vaca, los medicamentos suministrados a los animales, los hábitos de limpieza e higiene del personal, la limpieza del equipo de ordeña y del material utilizado para el manejo de la leche después de la ordeña.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad fisicoquímica y sanitaria de la leche producida en granjas familiares en el municipio de San Luis Potosí.

Justificación

En la zona conurbada de la ciudad de San Luis Potosí existen pequeñas unidades de producción lechera familiar, cuya producción se destina principalmente para consumo humano, mediante la venta de leche bronca de casa en casa o para la elaboración de productos lácteos. Dichas unidades de producción tienen un bajo índice de adopción de tecnología en cuanto al manejo del ganado en general, salud de la ubre, ordeño y de la leche después de extraída de la vaca, ya que no cuentan con equipos apropiados para conservarla y en ocasiones la limpieza no es la adecuada, lo que afecta la calidad fisicoquímica y sanitaria de la leche.

Hipótesis

La leche que se produce en los establos de la zona conurbada de la ciudad de San Luis Potosí, cumple con todas las normas de calidad, higiene y sanidad, lo que la hace apta para el consumo humano.

Objetivo general

Determinar las condiciones de manejo de la leche en las unidades de producción familiar, así como su calidad fisicoquímica, nutricional y sanitaria, en la zona conurbada del municipio de San Luis Potosí.

Objetivos específicos

- Analizar las características fisicoquímicas de la leche producida en esta zona.
- Determinar la prevalencia de mastitis en las UPL.
- Identificar los microorganismos causales de la mastitis.
- Determinar la presencia o ausencia de antibióticos en el producto.

2. Revisión de literatura

2.1. Importancia de la leche en la alimentación humana

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-155-SCFI-2003, se le denomina leche al producto obtenido de la secreción de las glándulas mamarias de las vacas, sin calostro, el cual debe ser sometido a tratamientos térmicos u otros procesos que garanticen la inocuidad del producto; además puede someterse a otras operaciones tales como clarificación, homogeneización, estandarización u otras, siempre y cuando no contaminen al producto y cumpla con las especificaciones de su denominación. Por otro lado el concepto de la leche cruda según la Norma General del Codex Alimentarius de leche y productos lácteos, es aquella leche que no ha sido calentada a más de 40° C ni sometida a ningún tratamiento que tenga un efecto equivalente (FAO, 2007).

La leche ha sido considerada altamente nutritiva en una dieta diaria equilibrada (Nagpal *et al.*, 2012); prueba de ello es el único alimento de los recién nacidos, ya que contiene todos los nutrientes necesarios para las funciones vitales y el crecimiento en esta etapa de la vida (Koletzko *et al.*, 2012).

1 L de leche cubre las necesidades diarias de una persona en la siguiente medida: de calcio en un 100%; fósforo 67%; vitamina B₂ en un 66% y de proteínas en un 49%; además este litro cubre aproximadamente el 20% de las necesidades energéticas diarias de una persona (Spreer, 1991).

El consumo adecuado de este producto ayuda al desarrollo y crecimiento del individuo en todos los aspectos, gracias a que los nutrientes contenidos en la leche cumplen funciones de todo tipo en el organismo (Agudelo y Bedolla, 2005).

Por ello, en los países en vías de desarrollo, en donde el bajo nivel sanitario debido a una nutrición inadecuada constituye el principal obstáculo para el progreso económico y social, el incremento de consumo de productos derivados de la leche, mejoraría notablemente el estado nutritivo y de salud en estas poblaciones.

2.2. Composición de la leche

La composición de la leche determina su calidad nutritiva, su valor como materia prima para fabricar productos alimenticios y muchas de sus propiedades (Fox, 2003). En el cuadro 1 se muestra la composición de la leche de vaca.

Cuadro 1. Composición de la leche de vaca

Componente	Contenido
	g/100g
Sólidos totales	12.7
Grasa	3.7
Proteína	3.4
Lactosa	4.8
Minerales	0.7

Fuente: Fox & McSweeney (1998). Citado por Huppertz and Kelly (2009).

2.2.1. Componentes de la leche de vaca

2.2.1.1. Agua

Constituye la fase continua de la leche y es el medio de soporte para sus componentes sólidos (Fox, 2009_a). Se presenta en dos estados:

1). *Agua libre*. Representa la mayor parte del agua y en ésta se mantiene en solución de lactosa y sales.

2). *Agua de enlace*. Esta agua es el elemento de cohesión de los diversos componentes no solubles y es adsorbida a la superficie de estos compuestos; no forma parte de la fase hídrica de la leche y es más difícil de eliminar que el agua libre (Keating y Gaona, 1999).

El contenido total de agua influye principalmente sobre la textura y sobre las propiedades físicas y mecánicas de los alimentos lácteos (Spreer, 1991).

2.2.1.2. Sólidos totales

Están formados por los compuestos sólidos de la leche (proteína, lactosa, grasa y minerales), pueden ser determinados directamente por la aplicación de calor para evaporar la fase acuosa de la leche (Keating y Gaona 1999).

2.2.1.3. Lactosa

Es el azúcar de la leche y se encuentra en dispersión molecular. Es un disacárido formado por glucosa y galactosa (Keating y Gaona, 1999); su concentración disminuye mientras avanza el periodo de lactación, así como en el aumento de

células somáticas (Huppertz and Kelly, 2009). El azúcar de la leche se caracteriza por su bajo poder edulcorante y su baja solubilidad (Fox, 2009_b).

La lactosa tiene dos funciones importantes en la leche: es una fuente de energía para el recién nacido (que proporciona 30% del valor calórico) y es responsable de aproximadamente el 50% de la presión osmótica de la leche (Fox, 2009_b).

2.2.1.4. Grasa

La composición de la grasa de la leche es de 98% de triglicéridos, 1% de fosfolípidos, y en pequeñas cantidades de diglicéridos, monoglicéridos, colesterol y algunas vitaminas liposolubles. La concentración varía con: la raza, periodo de lactación, mastitis, características particulares del animal y la alimentación (Huppertz and Kelly, 2009).

2.2.1.5. Proteínas

Generalmente la leche de vaca contiene de 30 a 35 g/L de proteína, la cual se divide de acuerdo a su solubilidad: la caseína insoluble, que representa el 80% de la proteína total de la leche y la soluble, proteínas séricas que representan el 20% restante (Huppertz and Kelly, 2009; Spreer, 1991).

En relación con la cantidad de grasa, cuando ésta es mayor, la cantidad de proteína es mayor (Bernal *et al.*, 2007).

La caseína está compuesta a su vez de 20 aminoácidos. Existen varias caseínas:

Alfa – caseína- 60% de la caseína de la leche

Beta – caseína- 25%

Gama – caseína- 10%

Beta – caseína- 5%

(Keating y Gaona, 1999).

2.2.1.6. Vitaminas y minerales

Los minerales que existen en la leche son potasio, calcio, sodio, fósforo, cloro, rubidio, flúor, sílice, boro, zinc, cobre, hierro, molibdeno, litio, magnesio, manganeso, cobalto, yodo y níquel (Keating y Gaona, 1999). En el cuadro 2 se observa la concentración de algunos de estos minerales presentes en la leche. Por otro lado la leche contribuye significativamente a la ingesta de vitaminas A y D, con un pequeña contribución a la ingesta de vitaminas C, E y K. Por ejemplo, la leche contribuye entre el 10-30% de ingesta de vitamina A en niños y adultos. La leche fortificada aporta un 40-60% de la vitamina D en niños y adultos por lo que es la fuente más importante de esta vitamina en la dieta estadounidense (Morrissey and Hill, 2009).

Cuadro 2. Presencia de minerales en leche de vaca

Componente	Concentración
	Mol/litro de leche descremada
Ca	30.1
Mg	5.1

Na	25.5
K	36.8
P	20.9
Citrato	9.8
Cl	30.3

Fuente: Holt (1985) citado por: Fox (1997).

2.3. Variación de la composición química de la leche

La composición y propiedades de la leche presentan una considerable variación, debido a los siguientes factores: genéticos, etapa de lactancia, estado de salud de la vaca y factores ambientales, por ejemplo alimentación, clima o método de ordeño (Huppertz and Kelly, 2009; Fox, 2009_a). El componente más variable en la leche a causa de los factores antes mencionados es la grasa.

Por otro lado el factor genético también influye en la composición de la leche como se puede observar en el cuadro 3, en donde la raza jersey alcanza los valores más altos. La época del año también interviene al tener un efecto significativo en la composición de la leche, particularmente en la grasa (Allore *et al.*, 1997), que a su vez esta estacionalidad, esta relacionada con la disponibilidad y la calidad de forraje que se le ofrece al ganado, teniendo como consecuencia un contenido menor de grasa en invierno y primavera que en verano y otoño. El porcentaje de proteínas en la leche también es variable en épocas del año presentando un aumento en periodos lluviosos, al igual que los sólidos totales y la densidad

(Bernal *et al.*, 2007). La lactosa aumenta ligeramente durante las primeras etapas de lactancia pero luego disminuye al final de ésta (Fox, 2009_b).

Es común que en ganaderías lecheras familiares haya una adulteración en la leche, la cual consiste en añadir agua para aumentar el volumen y así el productor tener mejores rendimientos; esta práctica tiene efecto negativo en la composición de la leche, de acuerdo con el trabajo de Bernal *et al.* (2007) encontraron que el contenido de grasa y proteína disminuye en la medida en que la cantidad de agua aumenta.

Cuadro 3. Composición de la leche de diferentes razas de vaca

Raza	Grasa	Proteína	Lactosa g/100g	Minerales	Sólidos totales
Ayrshire	4.0	3.3	4.6	0.7	12.7
Pardo suizo	3.8	3.2	4.8	0.7	12.7
Guernsey	4.6	3.5	4.8	0.8	13.7
Holstein	3.6	3.0	4.6	0.7	11.9
Jersey	5.0	3.7	4.7	0.8	14.2

Fuente: Nickerson (1995) citado por Huppertz and Kelly (2009).

2.4. Calidad en leche

La calidad higiénica de la leche cruda es de importancia, tanto para la salud pública como para el consumidor, es por ello que se debe de producir leche con

bajas tasas de recuento bacteriano y con un proceso de almacenamiento, enfriamiento y recolección adecuado, permitiendo la elaboración de productos lácteos de óptima calidad y asegurar la aceptación del público consumidor (Saran y Chaffer, 2000), que de acuerdo con (Belloque *et al.*, 2009) esta calidad depende de las condiciones de higiene en el establo y en la industria; del proceso a la que se somete y de las condiciones de almacenamiento.

La calidad de la leche se refiere a las propiedades que directa o indirectamente afectan la seguridad del producto, la aceptación del consumidor y la demanda del producto. Específicamente los atributos tales como los de su composición, contenido bacterial, conteo de células somáticas y la presencia de antibióticos o sustancias químicas, son los elementos clave para la determinación de la calidad del producto (Shearer *et al.*, 1992).

2.5. Aspectos que afectan la calidad de la leche

La leche secretada por los alvéolos de la glándula mamaria de la vaca es estéril, la contaminación microbiana se produce principalmente durante y después del ordeño. Los microorganismos son transferidos a la leche principalmente desde el entorno de la granja a la leche a través de la suciedad (heces, cama y suelo del establo), y los que se encuentran adheridos en los pezones y que pueden penetrar el canal del pezón provocando problemas de mastitis; la contaminación también puede originarse en el equipo de ordeño, cuando no se realiza la limpieza adecuada quedando así algunos microorganismos adheridos a la superficie del equipo, liberándose por el flujo de leche en la siguiente ordeña (Vissers and Driehuis, 2009).

Los requerimientos de la calidad higiénica de la leche cruda para un óptimo consumo según Saran y Chaffer (2000), son los siguientes:

- Bajo número de microorganismos saprófitos.
- Ausencia o muy bajo número de microorganismos potencialmente patógenos, incluyendo los de la ubre.
- Sin residuos de importancia toxicológica provenientes de los programas profilácticos del control de la mastitis.
- Mínima cantidad de contaminantes.

La producción higiénica de la leche implica muchos aspectos dentro de las zonas de producción, tales como: salud de las vacas, control en el manejo de alimentación, realizar prácticas de limpieza en establo, equipo de ordeña limpio y desechar la leche de vacas que han sido tratadas con antibióticos (Vissers and Driehuis, 2009).

2.6. Mastitis

2.6.1. Concepto

El término deriva del griego “mastos”, ubre e “itis” que significa inflamación. La mastitis es una reacción inflamatoria de los tejidos secretores o conductores de la leche en la glándula mamaria, como respuesta a una infección bacteriana o lesión traumática; el propósito de la inflamación es eliminar o neutralizar dichos microorganismos invasores y asistir en la reparación de tejidos dañados y de esta forma restablecer la función normal de la glándula. La mastitis se puede presentar de dos maneras: como clínica, cuando se presenta con signos y síntomas

observables: hinchazón de uno o más cuartos en la ubre, calor y dolor al contacto y cambios macroscópicos en la leche; la otra forma de mastitis es la subclínica, en la cual no se hay signos o síntomas observables y por lo general el animal, la ubre y la leche aparentan ser normales (Saran y Chaffer, 2000). Los daños causados por la mastitis subclínica son mucho mayores, ya que esta forma de mastitis es unas 20 a 50 veces más frecuente que la mastitis clínica (Wilson *et al.*, 1997); en México, la frecuencia de mastitis subclínica es del 75% en ganado ordeñado mecánicamente y del 90% cuando el ordeño se realiza manualmente (Sumano *et al.*, 1996).

Los factores que influyen en la mastitis bovina son:

- Vaca: Estado del sistema inmune, específico e inespecífico, estadio de la lactación y presencias de factores estresantes.
- Patógeno: Número de microorganismos, patogenicidad y factores de virulencia.
- Ambiente: Higiene de la ordeña, higiene en el manejo, factores climáticos y alimentación (Blowey y Edmondson, 1999).

De acuerdo con Zhao and Lacasse (2007) esta enfermedad es la más costosa en el ganado lechero; ya que reduce el número y la actividad de las células epiteliales, provocando así una disminución en la producción de leche debido al daño en los tejidos de la glándula mamaria.

Por lo general la mayoría de los ganaderos productores de leche están conscientes de la magnitud de los casos de mastitis clínica en sus hatos, pero

carecen de una apreciación completa de la prevalencia y de la importancia económica de la mastitis subclínica (Gerlach *et al.*, 2009).

2.6.2. Células somáticas

Las células somáticas están conformadas por linfocitos, fagocitos, macrófagos y leucocitos polimorfonucleares. Estas células son liberadas de la sangre para combatir la infección de la ubre, y de ese modo prevenir o reducir la inflamación de la glándula mamaria (Norman *et al.*, 2011). El incremento de células somáticas en la leche provoca cambios en su composición, al reducir el porcentaje de lactosa, grasa, caseína y pH; así como en el queso ocasiona disminución de rendimiento, firmeza del producto y proteólisis en el tiempo de maduración (Saran y Chaffer, 2000).

Diversos factores son los que influyen en el recuento de células somáticas como infección de la ubre, cantidad de cuartos o vacas afectadas, edad de la vaca, días en lactación, variación diurna, estación del año, aspectos técnicos y estrés en el animal (Saran y Chaffer, 2000).

2.6.3. Agentes causantes de mastitis

Los microorganismos existentes en la leche de vaca fresca están compuestos por los que pueden encontrarse en la ubre y en la piel de la vaca y los existentes en los utensilios o líneas de ordeño (Jay, 2002), la presencia de éstos últimos se debe generalmente por el mal manejo de limpieza que se da en el establo lechero.

Los agentes causantes de la mastitis bovina son microorganismos que habitan en la ubre de la vaca y sus alrededores. Más de 100 microorganismos son implicados como causantes de infección intramamaria, siendo los más importantes las bacterias grampositivas como *Staphylococcus* y *Streptococcus* y gramnegativas pertenecientes a las enterobacterias. De acuerdo con su epidemiología, pueden dividirse en tres grupos: 1) contagiosos, 2) ambientales y 3) oportunistas (Andersen, 2001; Saran y Chaffer, 2000).

2.6.3.1. Microorganismos contagiosos

La fuente de estos microorganismos es la ubre de la vaca afectada, diseminándose a partir de ésta hacia otras vacas y el lugar de contagio es la sala de ordeño. Se caracterizan por colonizar y crecer en la piel de la ubre y dentro del canal del pezón; lo cual contribuye a su naturaleza contagiosa y al hecho de que la incidencia de mastitis por estas bacterias es alta en aquellos establecimientos lecheros que se rehúsan en la mayoría de los casos a realizar medidas de control, donde es común observar tasas de prevalencia del 50%. Son agentes causales de mastitis subclínica, contribuyendo a los recuentos elevados de células somáticas (Saran y Chaffer, 2000).

Son transmitidos principalmente de la siguiente forma:

- Mediante la mano del ordeñador.
- A través de las toallas para secar la ubre.
- Mediante el equipo de ordeño (Wolter *et al.*, 2004).

Entre los diferentes microorganismos causantes de la mastitis, se encuentra el *Staphylococcus aureus*, en donde su reservorio principal es en el interior de la glándula mamaria (Blowey y Edmondson, 1999); además El *et al.* (2006) lo consideran como uno de los principales agentes patógenos que provocan la enfermedad. Esta bacteria tiene una gran resistencia fuera de la ubre bovina y por ello puede vivir mucho tiempo fuera de ésta, además de poseer diferentes factores de patogenicidad, los cuales acumulados causan la enfermedad en la glándula (Wolter *et al.*, 2004).

2.6.3.2. Microorganismos ambientales

Viven en los alrededores de la vaca, por ejemplo, cama, estiércol, agua estancada, restos de comida y también en las agujas y cánulas contaminadas de uso intramamario. La infección causada por estos microorganismos es de corta duración, siendo principalmente mastitis de tipo clínico (Saran y Chaffer, 2000).

Estos tipos de microorganismo pueden causar infecciones de una terapia sumamente difícil y muy persistente especialmente cuando hay una baja muy notable de las defensas del organismo en general y especialmente de la ubre. (Wolter *et al.*, 2004).

Dentro de los patógenos ambientales, la *Escherichia coli* es una de las causas más comunes de la mastitis bovina en unidades de producción lechera; aunque las infecciones por este microorganismo son transitorios, puede causar infecciones intramamarias persistentes (Dogan *et al.*, 2012).

2.6.3.3. Microorganismos oportunistas

Se encuentran en la piel de la ubre y pezones, adquieren importancia a raíz del descenso en la prevalencia de microorganismos contagiosos, es decir, son el resultado del éxito del trabajo realizado en cuanto a control de microorganismos contagiosos (Saran y Chaffer, 2000).

En el cuadro 4 se observa las especies de bacterias pertenecientes a los tres grupos anteriores.

Cuadro 4. Microorganismos causantes de mastitis

Grupo	Tipo de microorganismo		
Contagiosos	<i>Staphylococcus aureus</i>		
	<i>Streptococcus agalactiae</i>		
	<i>Streptococcus dysgalactiae</i>		
	<i>Mycoplasma</i> sp		
	<i>Corynebacterium bovis</i>		
Ambientales	<i>Streptococcus no-agalactiae</i>	<i>Streptococcus uberis</i>	
	Enterobacterias	<i>Escherichia coli</i>	
		<i>Klebsiella pneumoniae</i>	
		<i>Enterobacter aerogenes</i>	
Otros	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		

Serratia marcescens

Prototheca zopfii

*Arcanobacterium
pyogenes*

Oportunistas	<i>Staphylococci</i> negativos	coagulasa
--------------	-----------------------------------	-----------

Fuente: (Saran y Chaffer, 2000).

2.6.4. La ordeñadora mecánica y su relación con la mastitis

La ordeñadora mecánica puede repercutir en la frecuencia de la mastitis, de las siguientes maneras:

- Comportarse como un vector
- Dañar el extremo del pezón
- Aumentar la colonización bacteriana en el extremo del pezón
- Originar fuerzas de impacto (Blowey y Edmondson, 1999).

En el trabajo de Rasmussen *et al.* (2002) encontraron que al introducir el sistema mecánico de ordeño en granjas lecheras danesas hay un aumento de células somáticas y del total de bacterias en la leche.

Por su parte Ávila *et al.* (2002) al comparar las dos maneras de ordeño (manual y mecánico) encontraron diferencias en la calidad sanitaria de la leche, al tener mayor contenido de microorganismos mesófilos aerobios en el sistema mecánico (7260 ufc/mL), mientras que en el manual solo 2354 ufc/mL, según los autores esta diferencia se debe, a la accesibilidad de limpiar el material que se utiliza en el ordeño.

2.6.5. Pérdidas económicas

La mastitis bovina causa una gran cantidad de pérdidas económicas a nivel mundial, en especial en las regiones con una producción lechera intensiva. La causa más común del sacrificio temprano de vacas lecheras son los problemas de salud de las glándulas mamarias, además de problemas de fertilidad (Blowey y Edmondson, 1999).

El impacto económico como resultado de la mastitis tiene dos orígenes: los costos de control (uso de los recursos extra) y las pérdidas (reducción de los ingresos). Tales pérdidas son consecuencia de la disminución de la producción y son por lo general muy difíciles de evaluar (Seegers *et al.*, 2003).

Por ejemplo el costo promedio de cada caso de mastitis aguda le cuesta al productor lechero canadiense, alrededor de 150 dólares. Este número surge de las pérdidas económicas por descarte de leche, tratamiento con antibióticos, caída en la producción de leche y el tiempo empleado en el manejo de la vaca en tratamiento (Ten, 2010; Hogeveen *et al.*, 2012).

El costo promedio de la mastitis clínica por vaca por año en Estados Unidos es de \$179 dólares, que esta compuesto por un costo de \$115 dólares debido a pérdidas de producción de la leche, \$50 dólares por tratamientos aplicados y \$ 14 dólares por incrementos en mortalidad. Una variación del 20% en el precio de la leche modifica el costo por caso de mastitis clínica entre 17% y 18%; mientras que una variación del 20% en el costo de remplazo o tasa de preñez casi no altera el costo por caso de mastitis clínica, aunque si la estabilidad general del establo (Bar *et al.*, 2008).

En Europa, específicamente en Alemania, los daños ocasionados por la mastitis se han calculado en 150-200 euros (1270-1690 pesos) por vaca al año. Esto significa para los agricultores alemanes una pérdida anual de 740 a 1,000 millones de euros (6,260 a 8,460 millones de pesos), únicamente causados por la enfermedad de mastitis (Wolter *et al.*, 2004).

En México, en el estado de Sonora Gerlach *et al.* (2009) realizaron un estudio sobre el costo de la incidencia de mastitis en un rancho lechero en el municipio de Santa Ana, encontrando lo siguiente: el costo promedio mensual de cada animal con mastitis fue \$185.40; en total la mastitis tuvo un costo de \$30,966.34, correspondiendo \$12,470.75 (40.3%) a mastitis subclínica y \$18,459.59 (59.7%) a mastitis clínica. El costo total de la enfermedad representa una tercera parte de la producción anual obtenida en el establo.

En relación a la eliminación de animales Vitela *et al.* (2004) encontraron que, en México, las mastitis se encuentra entre las tres primeras causas de desecho por lesión o enfermedad ocupando el tercer lugar con 12.8% del desecho total, siendo en la cuarta y quinta lactancia cuando se presenta el mayor porcentaje de desecho, de 29.8% y 36.2%, respectivamente. Wolter *et al.* (2004) menciona que esta enfermedad es la causa más común del sacrificio temprano de los animales y representa el 26.5% de las vacas lecheras sacrificadas en el continente americano.

2.6.6. Efectos de la mastitis en la calidad de la leche

Además de los altos costos financieros para el ganadero, la mastitis tiene una gran repercusión en el valor higiénico de la leche y de sus subproductos debido a que

algunos agentes causantes de mastitis son patógenos (Blowey y Edmondson, 1999). Además de que la producción y la composición de la leche se ven afectadas (Seegers *et al.*, 2003).

Los componentes de la leche que se ven afectados como consecuencia de la mastitis son: la grasa, la proteína, la lactosa y otros componentes menores como enzimas y minerales (Saran y Chaffer, 2000; Sumano *et al.*, 1996).

Estas alteraciones en la composición de la leche son de importancia tecnológica; ya que provocan problemas en la producción de quesos y yogures, así como mal sabor y olor a la leche. Algunos de estos problemas son los siguientes:

- Reducción de la capacidad de coagulación de las proteínas.
- Influencia desfavorable sobre el sabor y tiempo de conservación de los productos.
- Cambio en el tiempo de cuajado y reducción de la firmeza en los quesos.
- Empeoramiento del sabor en la mantequilla (Saran y Chaffer, 2000).

La presencia de mastitis puede afectar también la calidad microbiológica de la leche cruda. Los principales patógenos que la causan, aumentan el conteo total bacteriano de la leche; dichos microorganismos están representados principalmente por: *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus agalactiae*, *Streptococcus dysgalactiae*, *Streptococcus uberis*, *Listeria spp* y *Escherichia coli*. Las especies de *Staphylococcus* son de interés para la salud pública ya que algunos de ellos, particularmente *Staphylococcus aureus* producen enterotoxinas termoestables que pueden causar daño a la salud de los consumidores (Touch and Deeth, 2009).

2.6.7. Efectos de la mastitis en salud pública

La leche es el vehículo de algunas enfermedades, generalmente por el consumo de leche fresca (Jay, 2002).

Existe una serie de bacterias que pueden o no causar mastitis pero que, transmitidas a través de la leche, son causantes de enfermedades en el ser humano, provocando problemas higiénico-sanitarios en la población humana.

Estas bacterias son *Listeria*, *Salmonella*, *Campylobacter* y *Staphylococcus aureus*.

La leche puede contener una serie de gérmenes o toxinas producidas por esos gérmenes. Como ejemplo esta el caso de *S. aureus*, esta bacteria produce una serie de toxinas que son termorresistentes, permaneciendo activas incluso tras los procesos de pasteurización, esterilización, etc. (Saran y Chaffer, 2000), por tanto el hombre puede infectarse mediante el consumo de leche que contiene *S. aureus* la cual ocasionaría una intoxicación alimenticia debido a estas enterotoxinas (Wolter *et al.*, 2004). Las manifestaciones clínicas de algunas enfermedades estafilocócicas se deben exclusivamente a las toxinas. Una vez que los estafilococos han sido introducidos en el alimento, éste debe permanecer a temperatura ambiente o superior para permitir el crecimiento de los microorganismos y la liberación de toxina. El calentamiento posterior del alimento matará a la bacteria, pero no inactivará a la toxina termoestable.

Después de la ingestión del alimento, el comienzo de la enfermedad es brusco y rápido, con un periodo de incubación medio de cuatro horas. No se produce nueva síntesis de toxina por estafilococos ingeridos, por lo que el curso de la enfermedad es breve y los síntomas se manifiestan en general en menos de 24 horas. La

intoxicación alimentaria estafilocócica se caracteriza por vómitos severos, diarrea y dolor abdominal o náuseas (Murray *et al.*, 1994).

2.7. Antibióticos en leche

Los antibióticos se manejan ampliamente en la industria láctea; tales como penicilina, estreptomicina cefalosporina y tetraciclina; estos se usan para el tratamiento y prevención de enfermedades que afectan a las vacas y suelen administrarse de forma rutinaria a rebaños enteros para prevenir la mastitis durante el período seco. La utilización de estos antimicrobianos aumenta el potencial de residuos de antibióticos en la leche y el aumento de la resistencia bacteriana a los antimicrobianos (Oliver *et al.*, 2012).

La presencia de residuos de antibióticos en la leche, se debe a que no existen controles sobre el manejo de estos, hay un uso exagerado, ni orientación veterinaria respecto a los antibióticos a suministrar de acuerdo con análisis previos, dosis y tiempo de duración del tratamiento. Además, por intereses económicos, no se deja un tiempo prudencial entre el último suministro y la total eliminación del medicamento, para poder disponer del producto (Saran y Chaffer, 2000).

Siendo la mastitis la principal enfermedad en la ganadería lechera, el uso de antibióticos es muy común. Los residuos de antibióticos también se encuentran en los productos lácteos; así López *et al.* (1997) en un estudio realizado en quesos, encontraron que del total de las muestras, el 61.8% de estas resultaron positivas, de las cuales 59.2% presentaron residuos de penicilina y el 25% una combinación con algún otro tipo de inhibidor diferente a la penicilina. Lo anterior indica que

estos productos son utilizados en la vida del animal como terapia de diferentes afecciones, entre las que se encuentran principalmente problemas con mastitis.

Por otro lado se ha observado la resistencia que presentan los microorganismos causales de la mastitis a ciertos antibióticos. En el trabajo realizado por Haftu *et al.* (2012) el *Staphylococcus aureus* presentó resistencia a la clindamicina (88.2%), a la ampicilina (82.4%), eritromicina (58.8%) y trimetoprim.sulfametoxazol; otras especies del género *Staphylococcus* también fueron resistentes a ampicilina (88.9%) y eritromicina (55.6%).

2.8. Sistemas de producción lechera en México

El sistema lechero mexicano no es homogéneo, es decir, las unidades productivas no son iguales en cuanto a tecnología, número de vientres, técnicas y procedimientos reproductivos utilizados, calidad de los forrajes y de la alimentación para los animales; así como mecanismos de comercialización y de aprovechamiento de los recursos disponibles; además existen cuatro diferentes modalidades de producción de leche de acuerdo con su nivel tecnológico: especializado, semiespecializado, doble propósito y el familiar o de traspatio. Al primero corresponde 50.6% de la producción total de leche, mientras que el estrato familiar representa 9.8%; por su parte el de doble propósito aporta el 18.3%; en tanto que el nivel semiespecializado sólo produce 21.3%. La producción especializada se caracteriza por tener un manejo estabulado de los hatos y la alimentación se basa en forrajes de corte y alimento balanceado; el semiespecializado comparte el mismo tipo de alimentación con el sistema anterior pero teniendo un manejo semiestabulado y en pequeños extensiones de terreno;

por el contrario en el sistema de doble propósito su manejo es extensivo y su tipo de alimentación se caracteriza por ser suplementada y ocasionalmente ofrecer a los animales subproductos agrícolas y por último el sistema familiar con un manejo semiestabulado, cerca de la vivienda y con extensiones pequeñas de terrenos; la alimentación es basada en pastoreo y suministro de esquilmos provenientes de cultivos (SIAP, 2009).

Según SAGARPA, (2010) alrededor del 28% de la producción de leche proviene de sistemas de producción poco competitivos, con escasa o nula tecnificación y falta de integración y organización económica. Dentro de estos sistemas se encuentra el familiar que continuación se presenta sus principales características por ser el de interés en este trabajo.

2.8.1. Sistema de producción de lechería familiar

Las unidades familiares de producción se caracterizan por ser relativamente pequeñas y diversificadas (Odermatt y Santiago, 1997).

La alimentación del ganado es a base de cultivos forrajeros como maíz y alfalfa; de alimento concentrado y de desechos agrícolas. El ganado se mantiene estabulado en instalaciones muy cercanas a la vivienda, además es una buena fuente de empleo para toda la familia como la de menores de edad, mujeres y personas de la tercera edad (Losada *et al.*, 2001; Odermatt y Santiago, 1997). Las razas que se manejan en el sistema familiar son Holstein y Pardo Suiza, y cruza de diferentes razas (Losada *et al.*, 2001). Su sistema de ordeña es manual o portátil, sus instalaciones son rústicas y su capacidad empresarial es baja (García *et al.*, 1998).

La comercialización es heterogénea, en donde algunas unidades de producción cuentan con vehículo para su entrega a los distribuidores y otros lo hacen directamente al consumidor. Algunos más venden a boteros (intermediarios) y unos cuantos producen quesos y lo distribuyen ellos mismos (Espinosa *et al.*, 2002).

2.8.2. Situación actual de la producción de leche en México

A nivel mundial México ocupa el lugar 15 en la producción de leche, aportando el 1.8% del total; los primeros lugares corresponden a: EUA, India, China, Rusia y Brasil (SPBL, 2011).

En la ganadería lechera mexicana se observa un fenómeno de concentración de la producción hacia grupos de productores organizados verticalmente, lo cual les permite participar del valor agregado generado en el acopio de la transformación y comercialización de la leche y sus derivados, esto provoca que los pequeños productores tengan problemas en cuanto a la venta de su producto y les plantea un reto para que se incorporen a grupos de productores ya integrados para que puedan ser proveedores permanentes de la industria láctea (SAGARPA, 2010).

De acuerdo con SIAP (2011) la producción nacional de leche de bovino fue de 10,724,288 miles de litros esto a nivel nacional, y en el estado de San Luis Potosí fue de 128,772 miles de litros, con un valor de producción de \$ 53,029,602 y \$ 646,344 respectivamente.

La leche junto con la carne de pollo y de res aportan aproximadamente el 62% del total de la proteína de origen pecuario consumida por los mexicanos; sin embargo, el consumo per cápita de la leche del mexicano es de 0.340 L/día de leche menor

a lo recomendado por la FAO que son 0.500 L/día de consumo mínimo (SAGARPA, 2010).

El destino de la leche fluida en México se distribuye de la siguiente forma: 30.9% para la elaboración de leche pasteurizada, homogeneizada y ultrapasteurizada; 17.6% para leche entera y leche para lactantes; 15.7% para quesos industriales; 9% para yogurt, yogurt natural o con frutas; 6% para la rehidratación de leche; 4% para crema, mantequilla, margarinas y grasas butíricas; y se destina cerca de un 17% para otros productos entre los que destacan quesos artesanales, dulces, y otros productos lácteos de carácter regional (SAGARPA, 2010).

2.9. Norma Oficial Mexicana. NOM-155-SCFI-2003, Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado. Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba.

Con el fin de comparar los resultados de las características fisicoquímicas y nutricionales de la leche, en el cuadro 5 se muestra los principales parámetros requeridos por la norma para una leche de buena calidad.

Cuadro 5. Especificaciones de la leche según la NOM-155-SCFI-2003

Especificación	Límite
Densidad a 15°C, g/ml	1.029 mín.
Grasa g/L	30 mín.

Acidez (expresada como ácido láctico) g/L	1.3 mín. 1.7 máx.
Sólidos no grasos, g/L	83 mín.
Punto crioscópico °C	-0.510 y -0.536
Lactosa g/L	43 mín. 50 máx.
Proteína g/L	30 mín.

3. Materiales y métodos

3.1. Zona de estudio

El trabajo se realizó en la zona conurbada de San Luis Potosí que comprende el municipio de Soledad de Graciano Sánchez y la delegación Villa de Pozos, haciendo un muestreo simple aleatorio para la elección de las unidades de producción lechera (UPL), las cuales se manejan bajo el sistema de tipo familiar con ordeño mecánico.

3.2. Ubicación geográfica

3.2.1. Soledad de Graciano Sánchez

El municipio se localiza en la zona centro del estado, la cabecera municipal tiene las siguientes coordenadas: 100°56' de longitud oeste y 22°11' de latitud norte, con una altura de 1,850 m sobre el nivel del mar. Colinda al norte con Villa Hidalgo, al este con Armadillo de los Infante y Cerro de San Pedro, al sur y al oeste con San Luis Potosí. Su distancia aproximada a la capital del estado es de 8 km. Tiene una superficie de 305.90 km² y cuenta con 267 830 habitantes en el censo del 2010. Su clima es seco templado (BS_{0kw}), con excepción al suroeste que cuenta con clima semi-seco templado (BS_{1kw}). La temperatura media anual es de 17.1°C y con una precipitación de 362 mm. Encontrado en: (<http://www.campopotosino.gob.mx/monmun.php>).

3.2.2. Delegación Villa de Pozos

El municipio de San Luis Potosí, en donde se ubica la delegación de Villa de Pozos, se encuentra localizado en el centro del estado, teniendo las siguientes

coordenadas: 100°58' de longitud oeste y 22°09' de latitud norte, con una altura de 1,860 m sobre el nivel del mar. Su distribución climática se caracteriza por: su parte sur, seco templado (BS_{0kw}) y semi seco templado (BS_{1kw}); en el norte, seco semi cálido (BS_{0hw}), al centro, muy seco templado (BW_{kw}). Su precipitación anual es de 372.9 mm. La temperatura media anual es de 16.8°C, con una máxima absoluta de 35°C y una mínima absoluta de 7°C. Encontrado en: (<http://www.campopotosino.gob.mx/monmun.php>).

Villa de Pozos tiene un número aproximado de 61 mil habitantes y su distancia aproximada de la cabecera municipal es de 5 km. Encontrado en: (<http://www.elocal.gob.mx/work/templates/enciclo/sanluispotosi/municipios/24028a.htm>).

3.3. Unidades de producción lechera

Las características de las unidades de muestreo pertenecen al sistema de producción de tipo familiar, su ordeño es mecánico, se emplea mano de obra familiar, la venta del producto tiene dos destinos, el primero es hacia pequeñas empresas elaboradoras de productos lácteos (principalmente queso y yogurt) artesanales de la región y el segundo es como venta directa al consumidor; la raza que predomina es la Holstein, el número de animales por UPL es variado, desde 15 hasta 72. La alimentación se basa en un 80% de forraje (alfalfa, maguey y nopal) y el restante de concentrado comercial.

3.4. Prevalencia de mastitis

3.4.1. Obtención de muestras

Los muestreos para determinar la prevalencia de mastitis se realizaron en época seca (marzo-junio), lluviosa (julio-octubre) y fría (noviembre-febrero). Primeramente se realizó la prueba de California Mastitis Test (CMT), para las vacas que resultaron positivas y determinar el grado de mastitis. Posteriormente, al momento de la ordeña se obtuvo una muestra de los cuatro cuartos mamarios independientemente si fueron positivos o no a la prueba. La muestra de leche se colocó en tubos esterilizados de 50mL, los cuales fueron colocados en una hielera a una temperatura de 4°C, para su traslado al laboratorio y posterior análisis. La recolección de las muestras se realizó de acuerdo a la metodología descrita por el Consejo Nacional de Mastitis (Hogan *et al.*, 1999).

Los animales que presentaron una inflamación de la ubre sin síntomas externos reconocibles se clasificarán como mastitis subclínica. Las vacas con mastitis clínica fueron aquellas con cuartos inflamados y coágulos en la leche.

3.4.2. Prueba de California

La prueba consiste en agregar un detergente alquil-aril sulfonato de sodio a la leche, que causa la liberación del ADN de las células presentes y éste, en combinación con agentes proteicos de la leche, se convierte en un complejo gelatinoso. A mayor presencia de células se libera una mayor concentración de ADN, por lo tanto mayor será la formación de la gelatina, traduciéndose en la lectura e interpretación del resultado como el grado más elevado de inflamación

de la glándula mamaria. La interpretación de resultados del CMT se realizó de acuerdo a Saran y Chaffer, 2000 (Cuadro 6).

El reactivo de California para el diagnóstico de mastitis posee entre sus componentes un tensoactivo que disminuye la tensión superficial de los leucocitos presentes en la leche de la vaca con mastitis, por lo que al disminuir esta tensión superficial se produce el estallido de los leucocitos y su contenido, al ponerse en contacto con el producto, forma el complejo gelatinoso en la raqueta (Blowey y Edmondson, 1999).

Cuadro 6. Interpretación de resultados del California Mastitis Test (CMT)

Escala	Recuento celular somático
Negativo	< 200 000
1	400 000 - 1 500 000
2	800 000 – 5 000 000
3	> 5 000 000

(Saran y Chaffer, 2000).

Los pasos que se siguieron para la realización del CMT en los hatos fue el siguiente:

1. Se desechó la leche del preordeño.

2. Se ordeñó uno o dos chorros de leche de cada cuarto en cada una de las placas de la paleta.
3. Se añadió a la leche un volumen igual de reactivo.
4. Se mezcló el reactivo y se examinó la presencia de gelificación.
5. Antes de continuar con la vaca siguiente se enjuagó la placa.

3.4.3. Análisis microbiológico

Las muestras obtenidas de los cuartos mamarios de cada vaca se sembraron en placas en agar sangre y agar Mac Conkey (BD Bioxon), conforme lo referido por Hogan *et al.* (1999), se incubaron a 37°C en una incubadora (Binder). El crecimiento de colonias fue evaluado a las 24h de la incubación. Para la identificación de microorganismos de los géneros *Streptococcus*, *Staphylococcus* y la especie *Staphylococcus aureus* se realizaron las siguientes pruebas:

3.4.3.1. Prueba de catalasa

Se realizó para distinguir bacterias catalasa negativo de catalasa positivo como *Streptococcus* y *Staphylococcus* respectivamente. Consistió en poner una colonia de microorganismos en un portaobjeto al cual se le añadió una gota de peróxido de Hidrógeno (H₂O₂) al 30%. La presencia de burbujas indicó microorganismos catalasa positivo.

3.4.3.2. Prueba de coagulasa

Permitió separar *S.aureus* de las otras especies de *Staphylococcus* que genéricamente se denominan coagulasa negativos. La prueba se realizó

emulsionando en tubo varias colonias de microorganismos en 0.5 mL de plasma citrado de conejo y se incubó a 37°C. A las 24h se observó formación de coágulo, se da como positiva la prueba. Cualquier grado de coagulación del plasma confirmó la presencia de *S. aureus*.

3.5. Análisis fisicoquímico de la leche

3.5.1. Recolección de muestras

Se recolectó leche del tanque frío o en algunos casos del recipiente donde se enfría la leche. La muestra se colocó en tubos esterilizados y se transportaron al laboratorio en una hielera con gel refrigerante a una temperatura de 4°C y posterior análisis. De igual manera que en la prevalencia de mastitis, el muestreo se realizó en las tres épocas del año.

3.5.2. Análisis fisicoquímico de la leche

Las pruebas fisicoquímicas de grasa, proteína, sólidos no grasos (SNG), densidad y punto crioscópico de la leche se analizaron en la Facultad de Ciencias Químicas de la UASLP, con un equipo Ekomilk (MILKANA KAM98-2A), el cual succiona una pequeña muestra de leche y la somete al paso de una onda de ultrasonido. El microprocesador traduce los resultados midiendo los parámetros antes mencionados. La temperatura a la que debe estar la leche para su análisis es de 15°C. El equipo también determinó el porcentaje de agua en el producto, la cual se uso como indicador de adulteración de la leche.

3.5.3. Sólidos totales (ST)

Se determinaron de acuerdo al método gravimétrico oficial de la Association of Official Analytical Chemists (A.O.A.C., 1990). Primeramente 5 gramos de muestra se depositaron en crisoles y colocaron en baño maría por 30 minutos para poder evaporar y eliminar la mayor parte del agua. La muestra en los crisoles fueron desecados a 100°C hasta peso constante. El porcentaje de sólidos totales en las muestras de leche se calculó como sigue:

$$\text{Humedad \%} = \frac{\text{Pérdida de peso en gramos}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

$$\text{Sólidos totales \%} = 100 - \text{\%humedad}$$

3.5.4. Cenizas

Para la determinar el contenido de cenizas en la leche se pesó 1 gr en un crisol previamente tarado, se llevó a una mufla a 550°C por 3 h o hasta obtener cenizas blancas. Posteriormente se enfrió en un desecador y se pesó en una balanza analítica para poder calcular el porcentaje de la siguiente manera (AOAC, 1990):

$$\text{Cenizas \%} = \frac{\text{Pérdida de peso en gramos}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

3.5.5. Acidez titulable

La acidez de la leche se obtuvo por medio de una titulación alcalimétrica con hidróxido de sodio (NaOH) a 0.1N, utilizando fenolftaleína como indicador en solución alcohólica al 1%. Primeramente se colocaron 9 mL de muestra en un

matraz, se agregaron 2 gotas de fenolftaleína y se procedió a la titulación con NaOH hasta la aparición del color rosa persistente, comparándola con un matraz con la misma alícuota de leche sin indicador. El cálculo de la acidez (expresada como ácido láctico) en g/L es de la siguiente manera (NOM-155-SCFI-2003):

$$\text{Acidez (g/L)} = \frac{V \times N \times 90}{M}$$

Donde:

V = son los mililitros de solución de NaOH 0,1 N, gastados en la titulación.

N = es la normalidad de la solución de NaOH.

M = es el volumen de la muestra en mL.

3.5.6. Lactosa

La determinación del porcentaje de lactosa de la leche se realizó por el método Fehling – Soxhlet (Kirk *et al.*, 2002). Primeramente se pesaron 12 gr de muestra y se les adicionó 4 mL de ferrocianuro de potasio y 4 mL de acetato de zinc en un matraz de 250 mL, se mezcló, aforó y filtró. Posteriormente en un vaso de precipitado se agregaron 5 mL de la solución A de Fehling y 5 mL de la solución B con 100 mL de agua destilada. Además se le añadió 1 mL del indicador azul de metileno, se puso a ebullición y se tituló con la preparación de la muestra hasta la desaparición del color azul.

Para obtener el factor del reactivo Fehling utilizado en la fórmula se preparó la solución patrón de lactosa con 10 gramos de lactosa anhidra pura disuelta en 1 L

con solución acuosa al 0.2% de ácido benzoico. Posteriormente se hizo el mismo procedimiento anteriormente descrito para la titulación y se obtuvo el volumen gastado de la solución patrón de lactosa.

La concentración de lactosa contenida en la muestra, expresada en porcentaje, se calculó con la siguiente fórmula (NOM-155-SCFI-2003):

$$\text{Lactosa \%} = \frac{250 / V (100) (F)}{M}$$

Donde:

V = son los mililitros gastados de la muestra para titular la solución A + B.

M = es el peso de la muestra.

F = es el factor del reactivo de Fehling, en gramos de lactosa.

3.7. Presencia de antibióticos

3.7.1. Recolección de muestras

Se recolectó leche del tanque frío o en algunos casos del recipiente donde se enfría la leche. La muestra se colocó en tubos esterilizados y se trasladó en una hielera con gel refrigerante a una temperatura de 4°C para ser llevados al laboratorio y posterior análisis.

3.7.2. Prueba cualitativa para antibióticos en leche

Para identificar la presencia de antibióticos en las muestras de leche se utilizó la prueba estándar Delvotest® SP – NT de BIOTEC especialidades alimenticias, S.A.

de C.V. de origen holandés, la cual es una prueba de difusión estándar para la detección de residuos de sustancias antibacterianas en leche. La prueba consistió en ampollitas que contienen un medio sólido de agar sembrado con un número estandarizado de esporas de *Bacillus stearotherophilus* var. Calidolactis, junto con nutrientes requeridos para el crecimiento. El medio fue coloreado por el indicador de pH púrpura de bromocresol.

Primeramente se agregó 0.1mL de leche a las ampollitas y se incubaron a 64°C por 3 h; después se observó si hubo algún cambio de color en el indicador de púrpura (prueba positiva) a amarillo (prueba negativa).

3.8. Condiciones de manejo en las UPL

Se realizó una propuesta para calificar las condiciones de manejo de las UPL, las variables a calificar se muestran en el cuadro 7. Solo se contabilizó si es que cumplían o no con las variables propuestas.

Cuadro 7. Variables a evaluar para las condiciones de manejo en las UPL de la zona de estudio

Parámetro

Lugar específico para ordeño

Limpieza de la ubre antes de ordeño

Limpieza con toalla de papel

Limpieza con sanitizante
Limpieza de pezoneras entre ordeño vaca-vaca
Limpieza de equipo de ordeña
Despunte
Sellador
Enfriamiento
Almacenamiento descubierto

3.9. Análisis estadístico

Para evaluar si existió alguna relación entre la prueba de California Mastitis Test y pruebas microbiológicas; así como entre recuento de células somáticas y presencia de residuos de antibióticos se hizo un análisis de tablas de contingencia, utilizando el estadístico de prueba de Chi-Cuadrada, con un $\alpha = 0.05$.

$$\text{Chi -Cuadrada: } X^2 = \sum \sum \frac{(f_{ij} - F_{ij})^2}{F_{ij}}$$

Donde:

F_{ij} = frecuencia observada en la celda de i-esima fila, j-esima columna

F_{ij} = frecuencia esperada en la celda de i-esima fila, j-esima columna

$$F_{ij} = \frac{(R_i)(C_j)}{n}$$

Los resultados de recuento de células somáticas se transformaron a logaritmo base diez, para facilitar su análisis.

El análisis de las variables nutricionales, fisicoquímicas, prevalencia de mastitis y recuento de células somáticas se realizó con el PROC GLM de SAS (SAS, 1999), para un diseño completamente al azar donde las épocas de muestreo fueron consideradas como tratamientos. Cuando se identificó que existían diferencias se realizó una prueba de medias de Tukey. El modelo estadístico utilizado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = respuesta individual de la variable medida (grasa, proteína total, lactosa, sólidos totales, sólidos no grasos, acidez, densidad, punto crioscópico y porcentaje de agua añadida, prevalencia de mastitis y células somáticas).

μ = media general.

α_i = efecto de la i -ésima época de muestreo.

ε_{ij} = error aleatorio.

4. Resultados y discusión

4.1. Prevalencia de mastitis

De acuerdo con la prueba de California Mastitis Test (CMT), la prevalencia de mastitis en la zona de estudio por época de año fue la siguiente: en época lluviosa 37.41%, fría con 33.0% y seca 30.3% de animales positivos. Entre épocas no existe diferencia significativa ($p>0.05$), ya que los periodos de muestreo no estuvieron tan marcados (principalmente en periodos donde las lluvias se presentaron de forma inusual). Aun así, los resultados en porcentaje indican que la mastitis se presenta con mayor frecuencia en la época lluviosa, ya que en el establo en este periodo las condiciones de limpieza no son las más adecuadas, debido a la gran acumulación de lodo y estiércol, lo que provoca que las vacas tengan siempre la ubre sucia y se contaminen, provocándoles problemas de mastitis.

Estudios realizados reportan resultados superiores a los del presente trabajo; así Ávila *et al.* (2002) encontraron 57% de prevalencia de mastitis subclínica en ordeños realizados manualmente y 33% en ordeños mecánicos y Calderón *et al.* (2008) reportaron 34.4%.

Por su parte Haftu *et al.* (2012) encontró prevalencia de 3.6% y 33.8% de mastitis clínica y subclínica respectivamente; Lakew *et al.* (2009) encontraron prevalencia de 26.5% para mastitis clínica y 38% para la subclínica y Gerlach *et al.*, (2009), en trabajos para incidencia de mastitis subclínica y clínica encontraron un promedio de 18.3% y 5.35% respectivamente.

Cabe señalar que en todos los estudios mencionados se aplicó la prueba del California Mastitis Test.

4.1.1. Distribución de mastitis en los cuartos mamarios

En total se muestrearon 1696 cuartos mamarios de los cuales 243 resultaron positivos con algún grado de infección, 235 con mastitis subclínica y solo 8 con clínica (Cuadro 8). Dichos resultados concuerdan con lo expuesto por Wilson *et al.* (1997), los cuales afirman que la mastitis subclínica se presenta 50 veces más que la clínica.

Estos resultados confirman que la realización periódica de pruebas del California Mastitis Test es una buena opción para poder identificar los casos de mastitis subclínica, y así los productores tengan más control en sus hatos en cuanto a esta enfermedad, que además de causarles pérdidas económicas afecta la calidad higiénica y sanitaria de la leche.

Al realizar los muestreos, los cuartos que resultaron con grado 3 (cuadro 8), se observaron características muy notorias en la leche como grumos, secreción amarillenta y sangre, así como inflamación en la ubre de las vacas.

En la época lluviosa existe una mayor prevalencia de cuartos infectados, en la estación fría hay una disminución y en la época seca hay un ligero aumento, marcando así un patrón donde la prevalencia de mastitis se ve influenciada por la temporada de precipitaciones en la región, coincidiendo con estudios anteriormente realizados (Román *et al.*, 2003).

Cuadro 8. Prevalencia de mastitis en la zona de estudio y grados de infección de los cuartos mamarios

Época	Número de vacas	Prevalencia de mastitis %	Cuartos muestreados	Cuartos infectados	Grado 1	Grado 2	Grado 3	Cuartos no funcionales
Lluviosa	147	37.41	588	111	56	50	5	6
Fría	112	33	448	58	38	17	3	3
Seca	165	30.3	660	74	38	36	0	9
Total	424	100	1696	243	132	103	8	18

4.2. Presencia de células somáticas

En la época lluviosa fue donde se presentó mayor conteo de células somáticas en las muestras de leche (Cuadro 9), esto concuerda con los resultados de prevalencia de mastitis por época de muestreo, ya que el mayor número de casos de mastitis clínica suele observarse en periodos de lluvias, coincidiendo con elevados valores de recuentos de células somáticas (Sant'Anna and Paranhos da Costa, 2011); además en este periodo es donde hay mayor porcentaje de *Staphylococcus aureus* (cuadro 11), agente importante en el aumento de células somáticas en leche (Saran y Chaffer, 2000; Wolter, 2004).

Por otro lado en la época seca también existe un elevado número de células somáticas, esto debido al estrés ocasionado por las altas temperaturas que se registraron en este periodo, ya que estas condiciones incrementan el grado de susceptibilidad de los animales a la infección por microorganismos, especialmente del grupo de los ambientales, como enterobacterias y *Streptococcus uberis* principalmente (Harmon, 1994; Smith *et al.*, 1985); causantes de aumentar el nivel de células somáticas en la leche (Wolter, 2004).

Cabe señalar que en el conteo de células somáticas no hubo diferencia significativa ($p>0.05$) por periodo de muestreo, sin embargo, se observa un aumento considerado en la época lluviosa, a causa de los problemas de mastitis que presentaron los animales.

Los altos valores de células somáticas son el resultado de la prevalencia de mastitis encontrada en los hatos lecheros en la zona de estudio; lo cuales son superiores a lo establecido por el PC-031-2005. Pliego de Condiciones para el uso de la Marca Oficial México Calidad Suprema en Leche y por la NOM-155-

SCFI-2003 ($\leq 400\ 000$ células/mL) reflejando así la calidad sanitaria deficiente del producto.

Según lo reportado por Seegers *et al.* (2003) un elevado número de células somáticas en leche, afecta directamente a las células secretoras provocando así una disminución en el total de la producción; así en la época lluviosa al tener el mayor número de células somáticas también se encuentra las mayores pérdidas en cuanto kilogramos de leche al día (cuadro 9).

Cuadro 9. Promedio de contenido de células somáticas y disminución de la producción

	Lluvia	Fría	Seca	Total
Células somáticas/ml	688 027	488 579	500 303	1 676 909
Producción (kg/día)	2 936.76	2 747.43	3 212.53	8 896.72
Pérdidas de producción (kg/día)	205.57	140.11	192.75	538.43

4.3. Pruebas microbiológicas

En el cuadro 10 se observan los porcentajes de las muestras que fueron positivas a las pruebas microbiológicas de la leche que se produce en la zona de estudio.

La presencia de microorganismos en las muestras de leche fue superior en la época seca, esto se puede explicar con el cuadro 11, en el cual aparece un porcentaje considerable de microorganismos ambientales los cuales son los causantes de provocar principalmente mastitis clínica en el hato lechero; además

se puede observar un porcentaje considerable de diferentes asociaciones de microorganismos en esta época, en la que destacan *Staphylococcus* spp y coliformes con un 11.66% de presencia; en un estudio similar realizado en Colombia por Calderón *et al.* (2008), encontraron solo 1.2% de infecciones mixtas, causantes de mastitis bovina, siendo la asociación más frecuente la de *Staphylococcus aureus* y *Streptococcus agalactiae*.

Cuadro 10. Muestras positivas a las pruebas microbiológicas

Época	Número de muestras	Positivo al cultivo (%)	EEM
Lluviosa	147	27.89	13.09
Fría	112	25.00	6.74
Seca	165	52.36	13.62

EEM= Error estándar de la media

El segundo porcentaje positivo a las pruebas microbiológicas se dio en la época lluviosa, en donde se puede observar que el microorganismo que tuvo mayor presencia es el *Staphylococcus aureus* (Cuadro 11) el cual pertenece al grupo de organismos contagiosos y causante de mastitis subclínica. Con estos resultados se puede comprender la prevalencia de mastitis en ésta época y el número de células somáticas tan elevado. Calderón *et al.* (2008) en un estudio aislaron a *S. aureus* en un 29%, constituyendo el principal organismo etiológico de mastitis, que de acuerdo con los autores es un agente infeccioso que persiste y se propaga

por las malas prácticas de ordeño, además que presenta mayores factores de virulencia. Lakew *et al.* (2009) encontraron que la mayoría de los aislamientos de microorganismos causantes de prevalencia de mastitis bovina pertenecen a los géneros de *Staphylococcus* y *Streptococcus* siendo el *Staphylococcus aureus* la especie con mayor porcentaje de aislamiento, con 24.1%. En Israel se encuentra alrededor del 9% presente en los hatos y a su vez es el causante de mastitis clínica en el 7.3% de los casos (Saran y Chaffer, 2000); en Jordania fue el agente con mayor aislamiento para casos de mastitis clínica en un 37.5% (Lafi *et al.*, 1994); y según Osteras *et al.* (1999) en los países industrializados el *Staphylococcus aureus* es el patógeno contagioso más aislado de casos de mastitis en vacas lecheras.

La época fría fue en la que se presentó menor porcentaje de crecimiento microbiano en la leche, esto influenciado por las bajas temperaturas características de esta época en la zona de estudio, que ayudan a disminuir el desarrollo de microorganismos causales de mastitis (cuadro 11). De igual manera fue el periodo donde hubo el menor nivel de células somáticas (Cuadro 9).

Los microorganismos con mayor presencia en el presente estudio fueron: *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus* spp, *Staphylococcus* spp y coliformes con diferentes asociaciones; estos son los principales agentes etiológicos de la mastitis presentada en los hatos lecheros en la zona de estudio, y dicha presencia se debe a los malos hábitos de limpieza e higiene que se practican en las UPL, como no limpiar con desinfectante antes del ordeño, secar con trapo de tela y no lavar el equipo de ordeño adecuadamente, ya que es en el momento del desarrollo de esta operación en que hay mayor porcentaje de infección entre los animales

que conforman el hato lechero. Estos microorganismos, por otra parte, pueden ser los causantes de enfermedades en los consumidores, ocasionando así un problema de salud pública grave en la población.

En la figura 1 se puede observar la hemólisis que caracteriza al *Staphylococcus aureus* cuando se encuentra en medio agar sangre; para la confirmación de este agente causal se realizó la prueba de coagulasa, la cual es positiva si hay una solidificación del medio después de la incubación (Figura 2). Para los microorganismos del género *Streptococcus* se identificaron con la prueba de catalasa (Figura 3) y para los coliformes se utilizó como medio de cultivo agar MacConkey (Figura 4).

Cuadro 11. Porcentaje de muestras de leche en las que hubo presencia de microorganismos en época lluviosa, fría y seca

Tipo de microorganismo	Época		
	Lluviosa	Fría	Seca
	%		
<i>Staphylococcus</i> spp	29.26	46.42	20
<i>Streptococcus</i> spp	9.75	21.42	25
Coliformes	2.43	10.71	13.33
<i>Staphylococcus aureus</i>	31.70	7.14	20
<i>Staphylococcus aureus</i> y coliformes	9.75	-	3.33
<i>Staphylococcus</i> spp y coliformes	14.63	-	11.66

<i>Streptococcus</i> y coliformes	2.43	7.14	3.33
<i>Streptococcus</i> spp y <i>Staphylococcus aureus</i>	-	7.14	1.66
<i>Streptococcus</i> spp, <i>Staphylococcus aureus</i> y coliformes	-	-	1.66



Figura 1. Hemolisis en agar sangre producida por *Staphylococcus aureus*.



Figura 2. Coagulación del medio (prueba positiva) para la identificación de *Staphylococcus aureus*.



Figura 3. Prueba de catalasa. Presencia de burbujas al mezclar colonias del género *Staphylococcus* con peróxido de Hidrógeno (H_2O_2).



Figura 4. Crecimiento de coliformes en agar sangre y MacKonkey.

De acuerdo a los resultados estadísticos si existe una diferencia ($p < 0.05$) entre la prueba microbiológica y la prueba de campo California Mastitis Test para la determinación de mastitis, lo que nos indica que para mayor confiabilidad es necesario hacer un análisis microbiológico en laboratorio, aun así la prueba de California Mastitis Test es una buena opción para determinar el estado de salud de la glándula mamaria del animal y puede ser un instrumento de apoyo para el productor en el control de la mastitis en su hato lechero.

4.4. Condiciones de manejo en las UPL

La prevalencia de mastitis se debe a las siguientes causas: la alta producción de leche, las vacas con muchos partos, la falta de higiene al momento del ordeño

(Echeverri *et al.*, 2010); cama del piso de los corrales, higiene del establo y etapa de lactancia (Abera *et al.*, 2012) entre otras.

Cuadro 12. Prácticas de limpieza e higiene en la UPL

Parámetro	%
Lugar específico para ordeño	83.4
Limpieza de la ubre antes de ordeño	100
Limpieza con toalla de papel	33.33
Limpieza con sanitizante	33.33
Limpieza de pezoneras entre ordeño vaca-vaca	16.66
Limpieza de equipo de ordeña	33.33
Despunte	33.33
Sellador	100
Enfriamiento	16.66
Almacenamiento descubierto	66.7

Con respecto a la falta de higiene dentro de la UPL, en el presente trabajo se observó que el 83.4% cuenta con un lugar específico para la ordeña (Figura 5) con infraestructura adecuada para ofrecer a los animales el alimento concentrado durante esta actividad, antes del ordeño se realiza una limpieza del lugar como barrer y mover los objetos que pueden ocasionar algún accidente; el porcentaje restante realizan la ordeña en el corral, aumentando así la posibilidad de

contaminación de la leche por las partículas del estiércol y de la cama del establo (Figura 6); condiciones que interfieren con el aseguramiento de la calidad sanitaria de la leche.

El total de las UPL la manera de ordeño es mecánico, un 83.4% utilizan maquinas portátiles de pistón y el 16.6% emplean una sala de ordeño tipo “media espina de pescado” con 6 plazas.

Por otro lado la limpieza de la ubre antes del ordeño la realizan en su totalidad las UPL, pero solo el 33.3% lo hacen de manera adecuada; es decir con agua y desinfectante y el secado con toalla de papel; el porcentaje restante solo con agua y con un trapo de tela (Figura 7), el cual es utilizado para todas las vacas, aumentando así el grado de contaminación cruzada en el hato lechero. El propósito de esta limpieza antes del ordeño es reducir el número de bacterias existentes en el pezón antes de que se acoplado a la unidad de ordeño, principalmente microorganismos ambientales que van directo a la leche (Blowey y Edmondson, 1999). La desinfección de los pezones antes del ordeño causan una disminución de microorganismos que se encuentran en la piel de estos, como lo demuestran Galton *et al.* (1988), donde compararon tres maneras de la preparación de los pezones antes del ordeño, las cuales fueron: sin preparación; lavado y secado, después baño previo y secado; donde los pezones fueron expuestos primero a una infección con una suspensión de *Streptococcus uberis* durante un tiempo de 1-2 horas antes del ordeño; y como resultados se obtuvo que en el tratamiento de lavado y secado produjo una reducción del 43% en el porcentaje de cuartos mamarios infectados y hubo una disminución complementaria del 40% en los cuartos infectados cuando fueron bañados con un

desinfectante antes del ordeño, aún en el caso de que los pezones hubiesen sido lavados y secados previamente. Otro estudio de lavado de la ubre previo a la ordeña lo realizaron Pankey *et al.* (1987) donde obtuvieron una reducción del 46% en la frecuencia de las infecciones ambientales causadas por *Streptococcus uberis* y *E. coli* en las vacas donde se realizó el baño previo.

Además otras de las actividades que ayudan a la limpieza e higiene antes del ordeño es el despunte, el cual consiste en eliminar los primeros chorros de leche de los cuartos mamarios, sobre todo para que el productor pueda detectar anomalías en la leche como el “tolondrón” o presencia de sangre y para eliminar las bacterias que normalmente se encuentran en mayor cantidad en las primeras secreciones mamarias del ordeño además de estimular la “bajada” de la leche (Blowey y Edmondson, 1999). En la zona de estudio solo el 33.3% realizan esta operación. Posteriormente a esto los trabajadores les colocan las pezoneras para empezar el ordeño de las vacas, el cual tarda aproximadamente de 7-8 minutos por cada animal.

El siguiente paso, después del retirado de las pezoneras, es el sellado (Figura 8) el cual lo realizan el 100% de las UPL muestreadas. Esta rutina ayuda a reducir la mastitis por agentes contagiosos y por consiguiente a disminuir el número de células somáticas (Saran y Chaffer, 2000) y según Chacón *et al.* (2006) el uso del sellador formado por el complejo de yodo-povidona al 0.26% reduce la incidencia de mastitis, el conteo de células somáticas y las pérdidas relacionadas con la producción de leche en un 48.8%.

El lavado del equipo de ordeña es esencial para evitar la contaminación de la leche; primeramente se debe de tener una limpieza de las pezoneras entre el

ordeño de cada vaca y así evitar la contaminación de microorganismos contagiosos, pero en las UPL de la zona estudio solo el 16.6% realizan esta operación, las demás si hacen la limpieza pero al termino de la ordeña. Por otro lado la limpieza del equipo de ordeña con agua caliente y desinfectante la realiza el 33.3 %, los demás lo hacen con agua a temperatura ambiente y con jabón comercial. La contaminación de la leche a través del equipo de ordeña ocurre cuando los microorganismos se adhieren a las superficies de dicho equipo y los residuos de la leche permanecen después del ciclo de limpieza; así el nivel y el tipo de contaminación en la leche depende en gran medida al adecuado procedimiento de limpieza del equipo de ordeño; y por otro lado al incrementar el tiempo entre dos ordeños da lugar a que se produzca mayor crecimiento de los microorganismos en el equipo (Vissers y Driehuis, 2009).

También en el proceso del ordeño se pudo apreciar en las UPL que emplean trabajadores externos (no familiares) los cuales no tienen el hábito de lavarse las manos antes de esta actividad; por el contrario en las unidades de producción que laboran los hijos o parientes del productor si realizan esta práctica de limpieza. Las manos del ordeñador representa una fuente de transferencia bacteriana del medio ambiente a los pezones, de un pezón a otro en la misma vaca y entre vacas (Saran y Chaffer, 2000).

Otro aspecto importante que se incluye en las prácticas de ordeño para prevenir el contagio de microorganismos causales de mastitis en el hato lechero conforme lo reportado por (Blowey y Edmondson;1999) consiste en que es ideal que las vacas afectadas de esta enfermedad deben ser ordeñadas en último lugar, esta medida reduce la propagación de la mastitis al resto del rebaño por medio de las manos

del ordeñador y de los manguitos de las pezoneras contaminados; esta práctica se observó solo en 33.3% de las UPL muestreadas en donde los productores ya tenían identificada a las vacas que tenían algún síntoma de mastitis clínica.

En lo referente al almacenamiento de la leche el 16.6% lo hacen en tanques enfriadores teniendo como temperatura promedio 4°C, el 50.1% en botes y tambos de plástico los cuales lavan con agua y jabón y el 33.3% en recipientes de aluminio; cabe señalar que de éstos el 66.7% no tienen la precaución de tapar estos recipientes, por lo que la leche se expone a los contaminantes como polvo, estiércol y moscas (Figura 9).

La comercialización de la leche, es de la siguiente manera: el 16.6% la venden en su propio domicilio y también a pequeños negocios dedicados a la elaboración de quesos, el 16.6% tienen su mercado dentro de la misma zona, distribuida de casa en casa y el 50.1% la venden únicamente a las microempresas transformadoras de la leche, las cuales elaboran queso y yogurt principalmente.

Al no realizar durante el ordeño diferentes costumbres higiénicas como: lavado de la ubre, paños individuales, lavado y desinfectado de manos del ordeñador y lavado de los pezones hay un aumento de mastitis clínica y el número de microorganismos infecciosos como el género de *Staphylococcus* spp y *Streptococcus* spp, obteniendo leche con un contenido de 400 000 células somáticas /mL (Neave *et al.*, 1969).



Figura 5. Lugar de ordeña en una de las UPL.



Figura 6. Ordeña en los corrales

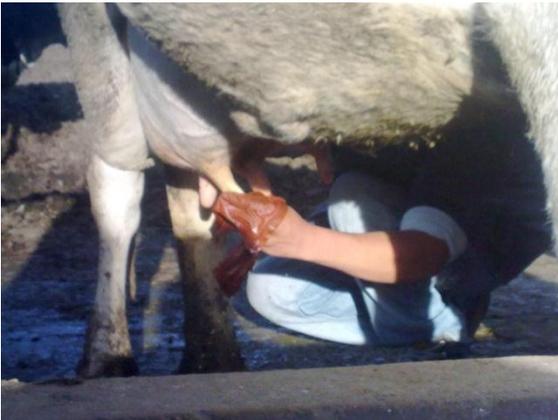


Figura 7. Lavado de la ubre con trapo de tela, antes del ordeño.



Figura 8. Sellado de los cuartos mamarios.

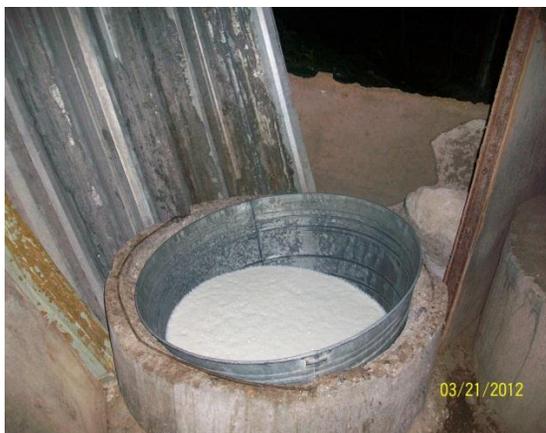


Figura 9. Recipiente de almacenamiento de la leche.

4.5. Calidad nutricional

En el cuadro 13 se puede observar las medias de las concentraciones de los componentes nutricionales de la leche en la zona de estudio; donde la grasa, sólidos totales y cenizas existe diferencia significativa ($p < 0.05$) por época de muestreo. En cambio lactosa, proteína y sólidos no grasos no presentan diferencia alguna.

Los resultados del presente estudio son superiores a los que marca la Norma Oficial Mexicana NOM-155-SCFI-2003, excepto el contenido de sólidos totales en época seca que presenta porcentaje por debajo del 12%, reflejando así que la leche que se produce en la zona de estudio reúne con las características nutricionales que exige dicha norma.

Cuadro 13. Medias de los porcentajes de los componentes nutricionales en la leche producida en la zona de estudio

Época	Grasa	Proteína	Lactosa	SNG	ST	Cenizas
			%			
Lluviosa	4.0 ^a	3.3 ^a	4.9 ^a	8.7 ^a	12.6 ^a	0.58 ^b
Fría	3.9 ^a	3.2 ^a	4.7 ^a	8.5 ^a	12.1 ^{ab}	0.55 ^b
Seca	3.4 ^b	3.2 ^a	4.6 ^a	8.5 ^a	11.9 ^b	0.82 ^a
EEM	0.131	0.039	0.067	0.104	0.2124	0.073

EEM= Error estándar de la media.

Los resultados con respecto al contenido de grasa concuerdan con lo que se reporta en la literatura, ya que es el componente de la leche que es más variable sobre todo debido a las estaciones del año, que va muy relacionado con la disponibilidad de forraje en la ración de los animales; así pues en el presente trabajo en la época lluviosa y fría presentaron los valores más altos del componente graso, no mostrando diferencia significativa entre estas dos épocas; en cambio al compararlas con la estación seca si existe diferencia significativa presentando en este periodo el valor mínimo. Estudios similares también presentan diferencia significativa del contenido de grasa por efecto de época de muestreo. Bernal *et al.* (2007) en el estado de México demostró que en periodos de mayores precipitaciones la leche presenta valores de 3.6% de grasa y disminuye conforme se reducen la presencia de lluvias hasta valores de 3.2%. Por otro lado Álvarez *et al.* (2012) encontró un porcentaje mayor en época de lluvia de

4% y en la seca 3.5% teniendo también diferencia significativa entre las dos épocas. En cambio un trabajo realizado en Venezuela no encontraron diferencia significativa siendo el contenido en época lluviosa 3.2% y en época seca 3.4% (Sánchez *et al.*, 1996).

El porcentaje de sólidos totales es igual en la época lluviosa como en la fría, lo mismo sucede en la época fría y la seca, pero existe diferencia significativa en los sólidos totales en la época lluviosa y en la seca ($p < 0.05$), siendo mayor en la primera; trabajos equivalentes como el de Calderón *et al.*, (2006) encontraron valores similares al del presente trabajo, siendo éstos 11.85% en época seca y en lluvias 12.25%, dicha diferencia se atribuye a la suplementación, a la mayor disponibilidad y a la calidad de los forrajes en periodos de mayores precipitaciones, por el contrario Álvarez *et al.* (2012) no encontró diferencia en los resultados siendo 12.18%, 12.53% y 12.62%, para época seca, lluviosa y fría respectivamente.

Otro componente que tuvo diferencia estadística ($p < 0.05$) fue el porcentaje de cenizas, siendo el más alto en época seca con 0.82% de contenido. Bernal *et al.* (2007) en un estudio similar no encontraron diferencia en el porcentaje de este componente, siendo valores más altos de los encontrados en este trabajo de 0.8% y 0.9%. En un estudio realizado en Venezuela, con dos periodos de muestreo, uno de lluvias y otro de sequía, Sánchez *et al.* (1996), encontraron 0.73% y 0.72% de cenizas respectivamente.

El porcentaje de proteína, lactosa y sólidos no grasos no presenta variación por época del año ($p > 0.05$), presentando el contenido más alto en el periodo de lluvias. Estudios similares no encontraron diferencia significativa por

estacionalidad en proteína, Román *et al.* (2003) en Venezuela señala 3.62% para época lluviosa y 3.54% para época seca; en diferentes regiones de Colombia el porcentaje de proteína va desde 3.02% en el periodo mínimo de lluvias y el más alto de 3.32% cuando se presentan mayor precipitación (Calderón *et al.*, 2006). La concentración de lactosa fue más alta en el periodo de lluvias y la más baja en época seca, pero no presentaron diferencia significativa ($p>0.05$), según lo reportado por Tornadijo *et al.* (1998) el contenido de lactosa es estable a lo largo del año.

La concentración de sólidos no grasos no presentaron diferencia por época de muestreo ($p<0.05$). Resultados similares encontró Álvarez *et al.* (2012) en granjas semiespecializadas en el Distrito Federal, con valor de hasta 8.72% en estación fría y la más baja de 8.52% en la seca, de igual manera no encontrando diferencia estadística.

4.6. Propiedades fisicoquímicas

En el cuadro 14 se presentan los valores obtenidos para densidad, punto crioscópico y acidez, propiedades fisicoquímicas que pueden alterar la composición nutricional de la leche. Estos valores no se encuentran dentro de los rangos que marca la norma; así la densidad en la época fría y seca se encuentra por debajo de lo señalado que es 1.029 g/L' el punto crioscópico en las tres épocas se encuentra por encima de los valores establecidos (entre -0.510°C y -0.536°C) y lo mismo pasa con la acidez teniendo valores altos comparados con los de la norma que son de 1.3-1.7 g/L.

La densidad es una propiedad que está muy relacionada a la cantidad de sólidos presentes en la leche, en este estudio en la época fría y seca tuvo una disminución, esto se puede explicar ya que en estas dos épocas hubo una adulteración más del 1 %, al agregarle agua al volumen final de la producción (intencionalmente o por descuido), así con esta adulteración aumenta el factor de dilución y por consiguiente la disminución de la densidad. El valor de la densidad en la época lluviosa si está dentro de los valores aceptados por la norma, los dos restantes se encuentran ligeramente por de bajo del mínimo que marca dicha norma.

Estudios similares realizados por Bernal *et al.* (2007) encontraron diferencia significativa al muestrear leche en épocas de mayor y menor precipitación, 1.030 g/mL y 1.029 g/mL respectivamente, tal diferencia se relaciona con el porcentaje de agua añadida a la producción. En otros estudios se encontraron resultados que van de 1.028 g/L a 1.032 g/L (Álvarez *et al.*, 2012; Calderón *et al.*, 2006 y Sánchez *et al.*, 1996).

Cuadro 14. Medias de las propiedades fisicoquímicas y adulteración de la leche producida en la zona de estudio

Época	Densidad g L ⁻¹	Punto crioscópico °C	Acidez g L ⁻¹	% de agua añadida
Lluviosa	1.029	-0.568	1.82	0.26 ^b
Fría	1.028	-0.556	1.75	1.23 ^{ab}

Seca	1.027	-0.556	1.72	1.64 ^a
EEM	0.0004	0.0066	0.0831	0.51

EEM= Error estándar de la media.

En cuanto al punto crioscópico de la leche no hubo diferencia significativa ($p > 0.05$) por época de muestreo, lo cual coincide con MacCarthy and Singh (2009), quienes mencionan que factores ambientales y nutricionales, como la temporada, el clima, la alimentación, la etapa de lactancia, raza de la vaca, y la mastitis clínica, solo tienen efectos relativamente pequeños en el punto de congelación de la leche.

Por otro lado los resultados se encuentran fuera de las especificaciones que marca la norma, estos valores menores se deben a que las muestras de leche presentaron niveles de acidez elevados; ya que según Lerche *et al.* (1969) la acidificación de la leche puede influir en el punto crioscópico al disminuirlo.

Los valores de acidez obtenidos en este trabajo son superiores a los que permite la norma (1.3 - 1.7 g/L), esto debido a que la acidez esta muy relacionada a la presencia de microorganismos que pueden desdoblar componentes de la leche, principalmente a la lactosa y así aumentar la acidez del producto.

Una de las condiciones para el crecimiento de estos microorganismos es la temperatura, factor que no esta muy controlado en la zona de estudio, ya que del total de las UPL solo el 16.6% cuentan con un sistema de enfriamiento, el porcentaje restante acondicionan una pileta llena de agua fría y encima ponen un recipiente de aluminio en donde se coloca la leche para poder enfriarse (Figura 8)

esta práctica ayuda a mantener la leche a una temperatura aproximadamente de 15-17 °C rango en el cual hay mayor probabilidad de proliferación de microorganismos indeseables en la leche. Por otro lado, el valor de acidez, también se puede ver afectada en la época lluviosa a causa del lodo que ensucia más a la ubre y, en general, empeora las condiciones sanitarias del ordeño, aumentando así el número de microorganismos contaminantes (Sánchez *et al.*, 1996).

Resultados de acidez reportados por otros autores muestran valores inferiores a los obtenidos en el presente trabajo. Así González *et al.* (2002) encontró 1.4 g/L en acidez en leches procedentes de un sistema silvopastoril, por su parte Román *et al.* (2003) encontró promedios de 1.6 a 1.7 g /L y Calderón *et al.* (2006) de 1.2-1.6 g/L de acidez.

4.7. Adulteración de la leche

Una práctica muy común entre los productores lecheros para aumentar el volumen de su producción es agregarle cierto porcentaje de agua; otras ocasiones es por descuido, ya que cuando se realiza la limpieza de los utensilios de almacenamiento o del lavado del equipo de ordeño algunas veces queda cierta cantidad de agua. Estas acciones pueden alterar la composición fisicoquímica de la leche. De acuerdo a los resultados mostrados en el cuadro 14, en la época seca es cuando hay mayor agregado de agua; la presencia de agua en el producto, se puede suponer que fue intencional (ya que no se pudo comprobar), esto porque en dicha época el forraje se vende a precios elevados y los productores lo remplazan con maguey y nopal picado, alimentos muy utilizados en

todo el país en las raciones de ganado lechero, pero que no tienen los mejores rendimientos en cuanto a la producción de leche; por otro lado, la práctica que si se pudo constatar fue observar cierta cantidad de agua en los utensilios utilizados para el almacenamiento de la leche; esto por falta de descuido por parte de los trabajadores al no dejar el tiempo necesario de escurrimiento.

Como ya se mencionó anteriormente dicha adulteración afecta en los componentes de la leche sobre todo en los sólidos totales y en la grasa, así como en las propiedades fisicoquímicas como densidad y punto de congelación. Bernal *et al.* (2007) en el estado de México, encontraron que la adulteración en leche tuvo un efecto sobre la composición fisicoquímica de la leche, pues se observó correlación negativa significativa ($p < 0.05$) entre el porcentaje de agua agregada y la densidad, proteína y grasa, es decir, el porcentaje de estos dos componentes disminuyó a causa de la adulteración, la cual no se pudo constatar si fue intencionada o por descuido, los porcentaje fueron de 3% hasta 21.2% de agua por litro de leche y en donde hubo mayor número de muestras adulteradas coincidió con el periodo de menores precipitaciones en la región.

4.8. Presencia de antibióticos en leche

En el cuadro 15 se muestran las épocas donde hay mayor presencia de antibióticos que son lluviosa y fría. De acuerdo a los análisis estadístico no hay relación ($p < 0.05$) entre el conteo de células somáticas y la presencia de antibióticos, sin embargo, al observar menor porcentaje de pruebas positivas a la detección de medicamentos en leche en la época seca y compararla con los resultados de mastitis clínica en este mismo periodo, demuestra que al no

presentarse ningún tipo de síntoma de mastitis en el hato lechero hay una disminución de antibióticos en la leche, el porcentaje que se presenta tal vez es a causa de fármacos que están relacionados a otro tipo de enfermedades en los animales.

Estudios similares encontraron resultados menores a los presentados en este trabajo, Kumar *et al.* (2012) encontró 10.08% de residuos de antibióticos en muestras de leche, mediante un ensayo basado en la capacidad de detectar residuos microbianos con la germinación de una espora bacteriana (*B. stearothermophilus*).

Cuadro 15. Presencia de residuos de antibióticos en leche

Época	Número de muestras	Positivo a antibióticos (%)
Lluviosa	16	50
Fría	14	50
Seca	15	20

Por otro lado en la época seca el porcentaje de antibióticos es menor esto se debe a que en este periodo no hubo síntomas de mastitis observables en el animal ni en la leche (cuadro 8).

Estudios que se han realizado para identificar la presencia de antibióticos en leche han confirmado el daño que pueden causar a la salud humana al consumirlos en productos alimentarios de la leche o en sus derivados. Así Allara *et al.* (2002)

realizaron un estudio para comprobar la presencia del medicamento penicilina G en leche producida en Venezuela y lo que encontraron fue que del total de las muestras analizadas el 0.96% resultó positivo a la detección de dicho medicamento y la concentración fue de 0.95 ppm. Según los autores, este medicamento puede causar reacciones alérgicas en personas susceptibles y por otra parte puede contribuir a la resistencia de microorganismos patógenos.

Al encontrar estos resultados nos refleja que los productores lecheros no realizan la práctica de separar al ganado que se encuentra en tratamiento médico para que la leche de la producción total no se contamine por este tipo de sustancias.

Es necesario comentar que según la NMX-F-700-COFOCALEC y PC-031-2005 dentro de los parámetros para evaluar la calidad de la leche cruda se menciona que no debe de existir ninguna concentración de antibiótico en este producto.

5. Conclusiones

La calidad nutricional de la leche que se produce en la zona de estudio se encuentra dentro de los parámetros que marca la norma presentando algunas diferencias entre época de muestreo como en el caso de grasa y sólidos totales.

Las propiedades fisicoquímicas, como la acidez y el punto crioscópico son afectadas por deficiencias en el manejo de la leche debido a la falta de equipo para enfriamiento en las UPL y la densidad por adulteración de la leche teniendo valores fuera de la norma.

La prevalencia de mastitis en los hatos lecheros y el elevado nivel de células somáticas disminuyen la producción, ocasionando así pérdidas económicas a los productores.

Los microorganismos causales de la mastitis, el nivel alto de células somáticas y la presencia de antibióticos afectan la calidad sanitaria de la leche.

La calidad de la leche producida en la zona de muestreo se puede mejorar al realizar las buenas prácticas de limpieza dentro de la UPL, como el aseo e higiene de los trabajadores, la correcta limpieza de la ubre antes y después del ordeño, la realización de pruebas de campo para la detección de mastitis, el almacenamiento correcto de la leche a una temperatura adecuada, la separación de animales enfermos y los que se encuentran en tratamiento con antibióticos para que la leche procedente de estos animales no vaya a la producción total y la limpieza en general del establo ayudarían a lograr este objetivo, así los productores de la zona ofertarían un producto con una mejor calidad y tendrían mejores oportunidades de ampliar sus ventas.

En futuros trabajos es necesario identificar los antibióticos y su concentración, ya que representa un serio problema de salud pública en la población que consume este tipo de leche.

6. Literatura citada

- Abera M.; T. Habte; K. Aragaw; K. Asmare; D. Sheferaw. 2012. Major causes of mastitis and associated risk factors in smallholder dairy farms in and around Hawassa, Southern Ethiopia. *Tropical Animal Health and Production*. 44: 1175–1179.
- Agudelo G., D. A.; Bedolla M., O. 2005. Composición nutricional de la leche de ganado vacuno. *Revista Lasallista de Investigación*. 2(001):38–42.
- Allara M.; P. Izquierdo; G. Torres; B. Rodríguez. 2002. Penicilina G en leche pasteurizada producida en el estado Zulia-Venezuela. *Revista científica, FCV-LUZ*. 12(6):683-687.
- Allore H. G.; Oltenacu P. A.; Erb H.N. 1997. Effects of season, herd size, and geographic region on the composition and quality of milk in the Northeast. *Journal of Dairy Science*. 80:3040-3049.
- Álvarez F., G.; J. G. Herrera H.; G. Alonso B.; A. Barreras S. 2012. Calidad de la leche cruda en unidades de producción familiar del sur de Ciudad de México. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 44: 237-242.
- Andresen H. S. 2001. Mastitis: prevención y control. *Rev Inv Vet Perú*; 12(2):55-64.
- AOAC 1990. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists*. 13th Edition. Published by the Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C. 20044, USA. 1018 p.

- Ávila T., S.; A. J. Gutiérrez C.; J. I. Sánchez G.; E. Canizal J. 2002. Comparación del estado de salud de la ubre y la calidad sanitaria de la leche de vacas ordeñadas manual o mecánicamente. *Veterinaria México*. 33(44):387–394.
- Bar D.; L. Tauer W.; G. Bennett; R. González N.; J. Hertl A.; Y. Schukken H.; H. Schulte F.; F. Welcome L.; Y. Gröhn T. 2008. The Cost of Generic Clinical Mastitis in Dairy Cows as Estimated by Using Dynamic Programming. *Journal Dairy Science*. 91:2205–2214.
- Belloque J.; R. Chicoín; I. Recio. 2009. Quality control. In: *Milk processing and quality management*. John Wiley & Sons. 72-85.
- Bernal M., L. R.; M. A. Rojas G.; C. Vázquez F.; A. Espinoza O.; J. Estrada F.; O. A. Castelán O. 2007. Determinación de la calidad fisicoquímica de la leche cruda en sistemas campesinos en dos regiones del Estado de México. *Veterinaria. México*. 38(4):395-407.
- Blowey R.; Edmondson P. 1999. Control de mastitis en granjas de vacuno de leche: guía ilustrada y práctica. Acribia. Zaragoza, España. 208 p.
- Calderón A.; F. García; G. Martínez. 2006. Indicadores de la calidad de leches crudas en diferentes regiones de Colombia. *Revista MVZ Cordoba*.1: 725-737.
- Calderón A.; V. Rodríguez C. 2008. Prevalencia de mastitis bovina y su etiología infecciosa en sistemas especializados en producción de leche en el altiplano cundiboyacense (Colombia). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 21:582-589.
- Chacón V., A.; C. F. Vargas R.; M. P. Jiménez R. 2006. Incidencia en el conteo de células somáticas de un sellador de barrera (yodo-povidona 0.26%) y un

sellador convencional (yoduro 0.44%). *Agronomía mesoamericana* 17 (2): 207-212.

Dogan B.; M. Rishi; G. Bruant; J. Harel; Y. H. Schukken; K. W. Simpson. 2012. Phylogroup and IpfA influence epithelial invasion by mastitis associated *Escherichia coli*. *Veterinary Microbiology*. 159(1-2): 163-70.

Echeverri Z., J. J.; M.G. Jaramillo; L.F. Restrepo B. 2010. Evaluación comparativa de dos metodologías de diagnóstico de mastitis en un hato lechero del Departamento de Antioquia. *Revista Lasallista de Investigación*. 7(1): 49-57.

El S., A.; J. Alber C. Lämmel; S. Jäger; W. Wolter; H. Castañeda V. 2006. Estudio comparativo de las características genóticas de cepas de *Staphylococcus aureus* aisladas de casos de mastitis clínica y subclínica en México. *Veterinaria México*. 37(2):165-179.

Espinosa O., V.; C. López D.; G. García B.; L. Gómez G.; P. Velásquez P.; G. Rivera Herrejón. 2002. Márgenes de comercialización de la leche cruda producida en sistema familiar. *Revista Científica Vol. XII-Suplemento 2*: 650-654.

FAO. 2007. *Leche y productos lácteos*. Roma. 275 p.

Fox P., F. 1997. *Advanced dairy chemistry*. Chapman and Hall. 536 p.

Fox P., F. 2003. Major constituents of milk. In: *Dairy Processing - Improving Quality*. Woodhead Publishing. 5-41 p.

Fox P., F. 2009 (a). Milk: an overview. In: *Milk Proteins - from Expression to Food*. Elsevier.

- Fox P., F. 2009 (b). Lactose: chemistry and properties. In: *Advanced Dairy Chemistry, Volume 3 - Lactose, Water, Salts and Minor Constituents*. 3rd Edition. Springer - Verlag. 1-15 p.
- Galton M., D.; L. G. Peterson; W. G. Merrill. 1988. Evaluation of udder preparations on intramammary infections. *Journal of Dairy Science*. 71:1417-1421.
- Gallardo N., J. L. 2005. Situación actual y perspectiva de la producción de leche de bovino en México 2005. Coordinación General de Ganadería. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 37 p.
- García H., L. A.; E. Martínez B.; H. Salas Q. 1998. La globalización de la industria lechera mexicana y las empresas alimentarias transnacionales. *Agroalimentaria*. No. 7. 31-41.
- Gerlach B., F. A.; F. Ayala A.; F. G. Denogean B.; S. Moreno M.; L. E. Gerlach B. 2009. Incidencia y costo de la mastitis en un establo del municipio de Santa Ana, Sonora. *Rev. Mex. Agron*. 13: 789-792.
- González I.; J. Vega; R. Castillo. 2002. Estudio de la calidad físico-químico de la leche entera de vaca en un sistema silvopastoril. *Tropical and subtropical agroecosystems*. 1(1):25-27.
- Haftu R.; H. Taddele; G. Gugsu; S. Kalayou. 2012. Prevalence, bacterial causes, and antimicrobial susceptibility profile of mastitis isolates from cows in large-scale dairy farms of Northern Ethiopia. *Tropical Animal Health and Production*. 44:1765–1771.
- Harmon J., R. 1994. Physiology of mastitis and factors evaluation for somatic cell counts. *Journal of Dairy Science*. 77: 2103-2112.

- Hogan J.S.; R.N. González R.J Harmon, S.C. Nickerson, S.P. Oliver, J.W. Pankey; K.L. 1999. Laboratory handbook on bovine mastitis. National Mastitis Council. Madison, WI.
- Hogeveen H.; K. Huijps; T. J. Lam. 2011. Economic aspects of mastitis: New developments. *New Zealand Veterinary Journal*. 59:1, 16-23.
- Huppertz T.; Kelly A. L. 2009. Properties and constituents of cow's milk. In: *Milk processing and quality management*. John Wiley & Sons. 23- 47 p.
- Jay J. M. 2002. *Microbiología moderna de los alimentos*. Acribia, S. A. Cuarta edición. Zaragoza, España. 615 p.
- Keating P.F.; Gaona R., H. 1999. *Introducción a la Lactología*. Limusa. Segunda Edición. México, D.F. 316 p.
- Kirk R., S.; R. Sawyer; H. Edan. 2002. *Composición y análisis de alimentos de Pearson*. Novena Edición. CECOSA. México. 777 p.
- Koletzko B.; R. Shamir; M. Ashwell. 2012. Quality and Safety Aspects of Infant Nutrition. 60: 179–184.
- Kumar N.; H. V. Raghu; A. Kumar; L. Haldar; A. Khan; S. Rane; R. Kumar M. 2012. Spore germination based assay for monitoring antibiotic residues in milk at dairy farm. *World Journal of Microbiology and Biotechnology World*. 28: 2559–2566.
- Lafi S.; O. Al-Rawashdeh; T. Na'Was; N. Hailat. 1994. National cross-sectional study of mastitis in dairy cattle in Jordan. *Tropical Animal Health and Production*. 26:68-174.

- Lakew M.; T. Tolosa; W. Tigre. 2009. Prevalence and major bacterial causes of bovine mastitis in Asella, South Eastern Ethiopia. *Tropical Animal Health and Production*. 41:1525–1530.
- Lerche M. 1969. *Inspección veterinaria de la leche*. Acribia. Zaragoza, España. 375 p.
- López A., P.; J. J. Martínez M.; L. S. Sánchez A. 1997. Determinación de penicilina y otros inhibidores en quesos frescos de la ciudad de Oaxaca, México. *Veterinaria México*. 28(3):185-188.
- Losada H.; R. Bennett; J. Cortés; J. Vieyra; R. Soriano. 2001. The Mexico City milk supply system: Structure, function and sustainability. *Agriculture and Human Values*. 18: 305-317.
- MacCarthy O., J.; Singh H. 2009. Physico-chemical properties of milk. In: *Advanced Dairy Chemistry, Volume 3 - Lactose, Water, Salts and Minor Constituents*. 3rd Edition. Springer - Verlag. 691-758 p.
- Morrissey P. A.; Hill T. R. 2009. Fat-soluble vitamins and vitamin C in milk and milk products. In: *Advanced Dairy Chemistry, Volume 3 - Lactose, Water, Salts and Minor Constituents (3rd Edition)*. Springer - Verlag. 528-589 p.
- Murray R., P.; G Kobayashi S.; M Pfaller A. y K Rosenthal S. 1994. *Microbiología medica*. Harcourt Blace. 755 p.
- Nagpal R.; P. V. Behare; M. Kumar; D. Mohania; M. Yadav; S. Jain; S. Menon; O. Parkash; F. Marotta; E. Minelli; C. J. Henry; H. Yadav. 2012. Milk, milk products, and disease free health: an updated overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 52(4): 321-33.

Neave K., F.; F.H. Dodd; R. G. Kingwill.; D.R. Westgarth. 1969. Control of mastitis in the dairy herd by hygiene and management. *Journal of Dairy Science*. 5(5):696- 707.

NMX-F-700-COFOCALEC-2004. Sistema producto leche – Alimentos - Lácteos – Leche cruda de vaca – Especificaciones fisicoquímicas, sanitarias y métodos de prueba.

NORMA Oficial Mexicana NOM-155-SCFI-2003, Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado- Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba.

Norman H., D.; J.E. Lombard; J.R. Wright; C.A. Koprak; J.M. Rodríguez; R.H. Miller. 2011. Consequence of alternative standards for bulk tank somatic cell count of dairy herds in the United States. *Journal of Dairy Science*. 94: 6243–6256.

Odermatt P.; Santiago C., M. J. 1997. Ventajas comparativas en la producción de la leche en México. *Agroalimentaria*. 5: 35-44.

Oliver S. P.; Murinda S. E. 2012. Antimicrobial resistance of mastitis pathogens. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 28(2): 165-85.

Osteras O.; S. W. Martin; V. L. Edge.1999. Possible risk factors associated with penicillin-resistant strains of *Staphylococcus aureus* from bovine subclinical mastitis in early lactation. *Journal of Dairy Science*. 82: 927-938.

Pankey W., J.; E. Wildman E.; P. Drechsler A.; J. Hogan S. 1987. Field trial evaluation of premilking teat disinfection. *Journal of Dairy Science*. 70: 867-872.

PC-031-2005. Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México calidad suprema en leche. SAGARPA. BANCOMEXT

Rasmussen D.; M. Bjerring; P. Justesen; L. Jepsen. 2002. Milk quality on Danish farms with automatic milking systems. *Journal of Dairy Science*. 85(11): 2869-2878.

Román S.; L. Guerrero; L. Pacheco. 2003. Evaluación de la calidad fisicoquímica, higiénica y sanitaria de la leche cruda almacenada en frío. *Revista científica, FCV-LUZ*. 13(2):146-152.

SAGARPA. 2010. Situación actual y perspectiva de la producción de leche de bovino en México 2010. *Claridades Agropecuarias*. No. 207. 34-43 p.

Sánchez D., M.; L. A. Boscán; F. De Jongh. 1996. Características físico-químicas y sanitarias de la leche del estado de Mérida, Venezuela. I. Zonas altas. *Revista científica. FCV-LUZ*. 6(2):99-110.

Sant'Anna A.C.; M.J.R. Paranhos da Costa. 2011. The relationship between dairy cow hygiene and somatic cell count in milk. *Journal of Dairy Science*. 94: 3835-3844.

Saran A.; Chaffer M. 2000. *Mastitis y calidad de leche*. Intermédica. Buenos Aires, República de Argentina. 194 p.

SAS. 1999. Institute Inc. Cary, North Carolina, University of Minnesota, Minnesota, USA.

- Seegers H., C. Fourichon; F. Beaudeau. 2003. Production effects related to mastitis and mastitis economics in dairy cattle herds. *Vet. Res.* 34: 475–491
- Shearer K.J.; R. Schmidt H.; J. Reneau K. 1992. Large dairy herd management. Capítulo 49: Monitoring milk quality and udder health. 475-486.
- Serfín. 1995. La industria de productos lácteos, en *Anuario Sectorial, México.* 25-27.
- SIAP. 2009. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Encontrado en: w4.siap.gob.mx/sispro/portales/pecuarios/.../descripcion.pdf
- SIAP. 2011. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. Encontrado en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=369.
- Smith K., L.; D. A. Todhunter.; P. S. Schoenberger. 1985. Environmental pathogens and intramammary infection during the dry period. *Journal Dairy Science.* 68: 402-417.
- SPBL. 2011. Comité Nacional del Sistema Productos Bovinos Leche. Semblanza estadística de las existencias de ganado y de la producción de leche de bovino en el mundo. 3 P. Encontrado en: http://www.lactodata.com/lactodata/docs/ind/lacto_ind_existencias.pdf
- Spreer E. 1991. *Lactología industrial.* Acribia, S.A. Zaragoza , España. 617 p.
- Sumano H.; G. W. Brumbaugh; G. Mateos. 1996. Bases farmacológicas del tratamiento de la mastitis bovina. *Veterinaria México.* 27(1):63-81.

- Ten H., J. 2010. Control de Mastitis y rendimiento reproductivo Programa de Aseguramiento de Calidad de Leche, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Asuntos Rurales de Ontario, CANADÁ.
- Tornadizo E., M.; A. Marra I.; M. C. García F.; B. Prieto; J. Caraballo. 1998. La calidad de la leche destinada a la fabricación de queso: calidad química. *Ciencia y tecnología alimentaria*. 2(2): 79-91.
- Touch V.; H. C, Deeth. 2009. Microbiology of raw and market milks In: *Milk processing and quality management*. John Wiley & Sons. 48-71.
- Vissers M., M. M.; Driehuis F. 2009. On-farm hygienic milk production. In: *Milk processing and quality management*. John Wiley & Sons. 1-22 p.
- Vitela M., I.; C. Cruz-Vázquez; M. Ramos P. 2004. Identificación de las causas de desecho en cinco establos lecheros de Aguascalientes, México. *Técnica Pecuaria*. México. 42: 437-444.
- Wilson J.D.; R. González N.; H. Das H. 1997. Bovine Mastitis Pathogens in New York and Pennsylvania: Prevalence and Effects on Somatic Cell Count and Milk Production. *Journal of Dairy Science* 80:2592–2598.
- Wolter W.; H. Castañeda; B. Kloppert; M Zschöck. 2004. Mastitis bovina. Prevención, diagnóstico y tratamiento. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. 68 p.
- Zhao X.; Lacasse P. 2007. Mammary tissue damage during bovine mastitis: Causes and control. *Journal of Animal Science*.86:57-65.