



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

CAMPUS LOMA BONITA

MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y PROCESAMIENTO PECUARIO

**APLICACIÓN DEL ENFOQUE HACCP PARA LA
IDENTIFICACIÓN DE FACTORES QUE COMPROMETEN LA
CALIDAD DE LA LECHE ENTREGADA EN EL CENTRO DE
ACOPIO DE LOMA BONITA, OAXACA**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN PRODUCCIÓN Y PROCESAMIENTO
PECUARIO**

PRESENTA:

OSIRIS LIZZETH ARCEO MERALES

DIRECTOR:

DR. JOSÉ MANUEL JUÁREZ BARRIENTOS

CODIRECTORA:

DRA. TANIA ZÚÑIGA MARROQUÍN

LOMA BONITA, OAXACA, MÉXICO, 2023



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

OFICIO	DEP-MPPP/2023/061
ASUNTO	Jurado para examen de grado

San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, a 14 de septiembre de 2023

IZ. OSIRIS LIZETH ARCEO MERALES
MAESTRÍA EN PRODUCCIÓN Y PROCESAMIENTO PECUARIO
UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

Por este medio le informo que el jurado de su examen para obtener el grado de **Maestra en Producción y Procesamiento Pecuario** estará integrado por los siguientes investigadores.

Profesor Investigador	Jurado de Examen
Dr. José Ángel Rueda Barrientos	Presidente
Dr. José Manuel Juárez Barrientos	Vocal
Dr. Wilbert Hernández Montiel	Secretario
Dra. Tania Zúñiga Marroquín	Primer Suplente
Dr. Nicolás Valenzuela Jiménez	Segundo Suplente

Sin más por el momento, le envío saludos cordiales.

Atentamente

terra uberrima, mens aperta
Bou Lo-tama, chí jí jú

Dr. José Abad Zavaleta
Jefe de la División de Estudios
de Posgrado



Dra. Tania Zúñiga Marroquín
Encargada del despacho de la
Vicerrectoría Académica
Vo. Bo.



C.c.p. Dr. José Manuel Juárez Barrientos – Director de tesis
C.c.p. Dr. José Ángel Rueda Barrientos – Coordinador de la Maestría en Producción y Procesamiento Pecuario
C.c.p. M. E. Yesenia Barrientos Arenal – Jefa del Departamento de Servicios Escolares.
C.c.p. Archivo

CAMPUS TUXTEPEC

C. Circuito central No. 200, Col. Parque Industrial.
C.P. 38301, Tuxtepec, Oax.
Tel. 01(287)8759240

www.unpa.edu.mx

CAMPUS LOMA BONITA

Av. Ferrocarril S/N, Ciudad universitaria.
C.P. 68400, Loma Bonita, Oax.
Tel. 01(281)8729230



UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

OFICIO	DEP-DBV/2023/0161
ASUNTO	Autorización de impresión de tesis

San Juan Bautista Tuxtepec, Oaxaca, a 14 de septiembre de 2023

DRA. TANIA ZÚNIGA MARROQUÍN
ENCARGADA DEL DESPACHO DE LA VICERRECTORÍA ACADÉMICA
UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

Sirva la presente para informarle que, el jurado evaluador del examen para obtener el grado de **Maestra en Producción y Procesamiento Pecuario** de la **LZ. Osiris Lizzeth Arceo Merales**, con número de **Matrícula 21190002**, ha autorizado la impresión del manuscrito que lleva por título **“Aplicación del enfoque HACCP para la identificación de riesgos en la calidad de la leche entregada en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca”**, para su posterior presentación y defensa por el sustentante.

Agradezco su atención y quedo a sus órdenes para cualquier duda o aclaración.

Atentamente
terra uberrima, mens aperta
Bøu Lo-tama, chí jí jú

Dr. José Abad Zavaleta

Jefe de la División de Estudios de Posgrado



C.c.p. **Dr. José Manuel Juárez Barrientos** – Director de tesis.

C.c.p. **Dr. José Ángel Rueda Barrientos** – Coordinador de la Maestría en Producción y Procesamiento Pecuario

C.c.p. **M. E. Yesenia Barrientos Arenal** – Jefa del Departamento de Servicios Escolares.

C.c.p. Archivo

CAMPUS TUXTEPEC

C. Circuito central No. 200, Col. Parque Industrial.

C.P. 38301, Tuxtepec, Oax.

Tel. 01(287)8759240

www.unpa.edu.mx

CAMPUS LOMA BONITA

Av. Ferrocarril S/N, Ciudad universitaria.

C.P. 68400, Loma Bonita, Oax.

Tel. 01(281)8729230

DEDICATORIA

A Dios, porque sus tiempos siempre son perfectos. Gracias por iluminar mi sendero de la vida y cumplir uno de mis sueños.

A mi esposo Cecilio Ubaldo Aguilar Martínez y mi hijo Carlos Daniel, por el apoyo y paciencia que me tuvieron. Ustedes fueron mi fortaleza en esos días negros cuando quería rendirme. Gracias por existir en mi vida. Los amo.

A mis padres y hermanos, con toda mi gratitud y admiración y porque aún me dan lecciones de vida. Los amo.

A mis profesores, por contribuir en mi formación académica brindándome sus conocimientos.

A mis amigos, por su apoyo incondicional y sobre todo, por la amistad brindada.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, porque gracias a la beca que me otorgó pude realizar mis estudios.

A la Universidad del Papaloapan, por darme las herramientas necesarias para terminar mis estudios.

A mi director de tesis Dr. José Manuel Juárez Barrientos, por apoyarme en la realización de este proyecto. Gracias por su paciencia, consejos y aportación.

A la Dra. Tania Zuñiga Marroquín, codirectora de tesis, por su colaboración y darme oportunidad de trabajar con ella.

Al Dr. Nicolas Valenzuela Jiménez, Dr. Wilbert Hernández Montiel y Dr. Jose Angel Rueda Barrientos, por su apoyo en la revisión del documento final de tesis, ya que sus valiosas sugerencias permitieron mejorar y enriquecer este proyecto.

ÍNDICE

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo general.....	4
2.2. Objetivos específicos.....	4
3. HIPÓTESIS	5
4. REVISIÓN DE LITERATURA	6
4.1. Herramientas para mejorar la calidad de la leche.....	6
4.1.1 Sistema HACCP.	6
4.1.2 BPP.	11
4.2. Calidad de la leche	13
4.2.1. Calidad higiénica.....	14
4.2.2. Calidad sanitaria.....	15
4.2.3. Calidad composicional de la leche.	16
4.3. Factores que afectan la calidad de la leche.....	18
4.3.1. Factores genéticos.	18
4.3.2. Factores climáticos.....	18
4.3.3. Factores fisiológicos.....	19
4.3.4. Factores nutricionales.	20

4.3.5. Factores de manejo de la leche.	21
4.4. Sistemas de pago por calidad de la leche	24
4.5. Parámetros utilizados en el monitoreo de la calidad de leche	26
4.5.1 Prueba de alcohol.....	26
4.5.2 Determinación de grasa, proteína, lactosa y sólidos no grasos (SNG).....	27
4.5.3 Acidez titulable	27
4.5.4 Punto crioscópico	28
4.5.5 Densidad láctea.....	28
4.5.6 Prueba de reductasa.....	29
4.5.7 Conteo de células somáticas.	29
4.6. Producción de leche en México	30
4.7. Sistemas de producción de leche	31
4.7.1. Sistema especializado.....	31
4.7.2. Sistema semi-especializado.....	32
4.7.3. Sistema familiar.....	33
4.7.4. Sistema de doble propósito.....	33
5. MATERIALES Y MÉTODOS	36
5.1. Descripción del área de estudio.....	36
5.2. Unidades de producción	36
5.3. Obtención y manejo de las muestras de leche	37
5.4. Fases del proyecto de investigación.....	37
5.5. Determinación de la calidad de la leche entregada en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca.....	38
5.5.1 Prueba de alcohol.	38
5.5.2 Características fisicoquímicas.....	38

5.5.3	Conteo de células somáticas.	38
5.5.4	Prueba de reductasa.	38
5.5.5.	Prueba de acidez titulable.	39
5.6.	Identificación de riesgos y PCC durante la producción de leche en seis comunidades de la Cuenca del Papaloapan	39
5.6.1.	Identificación de factores de manejo desde el ordeño hasta la entrega en el centro de acopio relacionados con la calidad de la leche... .	40
5.6.2.	Identificación de los riesgos en el proceso de obtención-entrega de la leche al centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca, en unidades de producción de la Cuenca del Papaloapan.	40
5.6.3.	Establecimiento de los PCC del manejo de la leche desde su obtención hasta la entrega en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca, en unidades de producción de la Cuenca del Papaloapan.	40
5.7.	Análisis estadístico	41
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
6.1.	Calidad de la leche entregada en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca	42
6.2.	Identificación de riesgos y PCC durante la producción de leche en comunidades de la Cuenca del Papaloapan	51
6.2.1.	Identificación de factores de manejo que afectan la calidad de la leche.....	52
6.2.2.	Identificación de los riesgos en el proceso de obtención-entrega de la leche al centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca, en unidades de producción de la Cuenca del Papaloapan.	66
6.2.3.	Establecimiento de los puntos críticos de control del manejo de la leche desde su obtención hasta su entrega en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca.....	71

6.3. Relación entre la mala calidad de la leche entregada en el centro de acopio de Loma Bonita y las prácticas de manejo en las unidades de producción	78
7. CONCLUSIONES	83
8. LITERATURA CITADA.....	85
9. ANEXO I.....	105

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Pág.
1	Localidad, municipio y número de los productores que entregan leche en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca.....	36
2	Clasificación de la leche de acuerdo con el tiempo que tardan los microorganismos en reducir el azul de metileno.....	39
3	Composición de la leche, conteo de células somáticas y tiempo de reductasa en la leche entregada por diferentes unidades de producción al centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca.....	43
4	Porcentaje de muestras de leche entregada por diferentes unidades de producción al centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca, agrupadas con base en categorías establecidas por Moroni <i>et al.</i> (2017) y Skeie (2010)	48
5	Clasificación de la leche de acuerdo con el tiempo de reducción de azul de metileno en unidades de producción que entregan leche en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca.....	49
6	Número de productores y características fisicoquímicas de la leche, cantidad de células somáticas y tiempo de reductasa en unidades de producción agrupadas por localidad.....	50
7	Factores de manejo aplicados durante la etapa de pre-ordeño en las unidades de producción incluidas en el estudio.....	55
8	Factores de manejo aplicados durante la etapa de ordeño en las unidades de producción incluidas en el estudio.....	57
9	Características del local de ordeño y frecuencia de limpieza...	60
10	Manejo de la leche después de la ordeña y causas de rechazo en las unidades de producción incluidas en el estudio.....	62
11	Actividades relacionadas con el control de la mastitis bovina en las unidades de producción.....	65

12	Tipos de riesgos que existen en unidades de producción de leche de vaca	67
13	Tipos de riesgos identificados en unidades de producción durante el proceso obtención-entrega de leche en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca.....	68
14	Puntos críticos identificados en los riesgos durante las etapas del proceso de ordeño.....	73
15	Relación de productores que entregan leche al centro de acopio de Loma Bonita con parámetros afectados en la calidad de leche.....	78
16	PCC identificados en los productores que entregaron leche en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca, con fallas en alguno de los parámetros de calidad.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Árbol de decisiones para establecer la existencia de PCC, de acuerdo con la metodología descrita por la FAO (2002)	41
2	Valores de la acidez titulable de las unidades de producción que entregan leche al centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca.....	51
3	Diagrama de etapas del flujo operacional de obtención y manejo de leche, en unidades de producción que entregan leche al centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca.....	53

RESUMEN

El objetivo fue establecer los factores que afectan la calidad de la leche entregada en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca y relacionarlos con los riesgos y puntos críticos de control aplicando el enfoque HACCP. Se analizaron 30 muestras de la leche entregada por productores en el centro de acopio para medir su estabilidad térmica, calidad composicional, conteo de células somáticas, tiempo de reducción del azul de metileno y acidez titulable. La prueba de alcohol mostró que la leche que entregan todas las unidades de producción es apta para ser sometida a procesos térmicos. Los valores promedios para contenido de grasa, proteína, lactosa y sólidos no grasos fueron de 3.9 %, 3.2 %, 4.7 % y 8.5 %, respectivamente. Excepto por dos unidades de producción, las demás cumplieron con los criterios establecidos por el centro de acopio. El conteo promedio de células somáticas fue de 379,000 CS mL⁻¹; el 63.3 % de las unidades de producción mostró valores que indican la presencia de mastitis subclínica en alta proporción en el hato. De acuerdo con la prueba de acidez titulable, todos los valores estuvieron dentro de los parámetros establecidos por el centro de acopio (1.3-1.6 g/L). La determinación indirecta de carga bacteriana a través de la prueba de reductasa, mostró que el tiempo promedio de reducción del azul de metileno fue de 211 minutos; un 13.3 % de las muestras se clasificó como leche de buena calidad y el 86.6 % restante de calidad regular a buena. Se elaboró un diagrama de flujo del manejo de la leche en el que se identificaron tres etapas de manejo (pre-ordeño, ordeño y pos-ordeño) y 19 actividades. Se aplicó el enfoque HACCP para identificar los riesgos y puntos críticos de control (PCC) en el proceso obtención de leche-entrega en el centro de acopio. Se identificaron riesgos físicos, químicos y biológicos que afectan la calidad de la leche. Existieron actividades de manejo que se constituyeron como PCC (lavado de manos y brazos del ordeñador, lavado de utensilios de ordeño, lavado de pezones, secado de pezones, despunte, vaciado y colado de la leche y medición de la leche). Se concluye que el enfoque HACCP fue útil para identificar los riesgos y PCC durante el proceso de ordeño, almacenamiento y transporte de la leche que se entrega en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca.

Palabras clave: leche bovina, calidad de leche, sistema de doble propósito, composición de leche, células somáticas, reductasa, HACCP.

ABSTRACT

The aim was to establish the factors that affect the quality of the milk delivered at the collection center in Loma Bonita, Oaxaca, and to relate them to the risks and critical control points using the HACCP approach. Thirty samples of milk delivered by producers to the collection center were analyzed to measure thermal stability, compositional quality, somatic cell count, methylene blue reduction time, and titratable acidity. The alcohol test indicated that the milk delivered by all farms is suitable for thermal processing. The average values for fat, protein, lactose, and non-fat solids content were 3.9 %, 3.2 %, 4.7 %, and 8.5 %, respectively. Except for two production units, the others met the criteria set by the collection center. The average somatic cell count was 379,000 cells mL⁻¹; 63.3% of the farms showed values indicating a high proportion of subclinical mastitis in the herd. According to the titratable acidity test, all values were within the parameters established by the collection center (1.3-1.6 g L⁻¹). The indirect determination of bacterial load through the reductase test showed that the average methylene blue reduction time was 211 minutes; 13.3 % of the samples were classified as good quality milk, while the remaining 86.6 % were of regular to good quality. A flow diagram of milk handling was developed, identifying three stages of handling (pre-milking, milking, and post-milking) and 19 activities. The HACCP approach was applied to identify risks and critical control points (CCP's) in the milk procurement-delivery process at the collection center. Physical, chemical, and biological risks affecting milk quality were identified. Certain handling activities were designated as CCPs (hand and arm washing of the milker, washing of milking utensils, teat washing, teat drying, forestripping, pouring and straining of milk, and milk measurement). It is concluded that the HACCP approach was useful in identifying risks and CCP's during the milking, storage, and transportation process of the milk delivered at the Loma Bonita collection center in Oaxaca.

Keyword: bovine milk, milk quality, dual-purpose system, milk composition, somatic cells, reductase, HACCP.

1. INTRODUCCIÓN

En México, la ganadería de doble propósito aporta el 18 % de la producción nacional de leche, aunque se ha estimado que tiene el potencial para aportar hasta el 40 % (Magaña *et al.*, 2006). La baja productividad del ganado es el reflejo de una gran variabilidad genética existente en los hatos, la baja calidad de los forrajes que sirven como base para la alimentación del ganado y fallas en el manejo del ganado (Román-Ponce *et al.*, 2013). Además, otro inconveniente observado es la alta proporción de productores que no aplican buenas prácticas de producción, ocasionando que la leche obtenida no sea de buena calidad (Juárez-Barrientos *et al.*, 2016).

Ante el panorama antes expuesto, el gobierno de México intenta incentivar la producción de leche de buena calidad que proviene de los sistemas de doble propósito. Para ello, ha establecido en diversas partes del país, centros de acopio que permiten la comercialización directa de la leche producida mediante un sistema de pagos diferenciados que prioriza la calidad sobre la cantidad (LICONSA, 2020). Con ello, los productores pueden obtener un mejor precio por cada unidad de volumen que entregan. Con este sistema, la recepción de la leche está asegurada si los productores entregan un producto de calidad. Sin embargo, si la leche no cumple con los estándares de calidad establecidos, el producto será rechazado y los productores tendrán que buscar una alternativa para comercializarla.

En 2019 comenzó a operar en Loma Bonita, Oaxaca, un centro de acopio regional con una capacidad para captar diariamente 20,000 litros de leche (SEGALMEX, 2021), de los cuales sólo recibe 2,000 litros. Lo anterior se debe principalmente a la elevada tasa de rechazo relacionada con una mala calidad.

La calidad de la leche destinada al consumo humano, se refiere al conjunto de propiedades y características de la misma que le confieren la capacidad de satisfacer las necesidades de los consumidores (ISO, 2005). Puede ser afectada por diversos factores tales como, la genética de los animales, las condiciones de

manejo a las que estos son sometidos y el estado sanitario de la glándula mamaria (Mortensen *et al.*, 2010). Sin embargo, es probable que la mayor causa de los rechazos sea consecuencia del manejo inadecuado de la leche después de su obtención (SNV-DTC, 2017). Bajo condiciones ideales, la leche sale de la glándula mamaria prácticamente estéril y es durante su manejo posterior que es contaminada por bacterias capaces de modificar sus características fisicoquímicas. Para evitar el crecimiento bacteriano y la modificación de las características de la leche, algunos productores utilizan tanques de enfriamiento que mantienen la leche a temperatura de refrigeración. De esta manera, en el centro de acopio se manejan los sistemas de entrega de leche caliente y fría. La leche caliente es aquella que una vez obtenida, es almacenada y transportada al centro de acopio. En cambio, la leche fría es introducida a un tanque de enfriamiento donde es almacenada a una temperatura entre 4 y 7 °C y entregada en el centro de acopio.

La calidad de la leche puede mejorar a través de la aplicación de estrategias que permitan garantizar su calidad e inocuidad. Una de las herramientas más utilizadas por la industria alimentaria para garantizar la inocuidad de los alimentos para consumo humano es el sistema de Análisis de Riesgos y Control de Puntos Críticos, conocido como HACCP por sus siglas en inglés (Owusu-Kwarteng *et al.*, 2020). De manera general, este sistema consta de siete principios que son realizar un análisis de peligros, determinar los puntos críticos de control (PCC), establecer los límites críticos, determinar procedimientos de monitoreo, establecer acciones correctivas, establecer procedimientos de verificación y definir los procedimientos de registros y documentación (FAO-OMS, 2005). Los siete principios permiten identificar, evaluar y prevenir todos los riesgos de contaminación en los productos alimenticios en general, así como en el establecimiento de medidas correctivas para garantizar su inocuidad (Cullor, 1995). Aunque el sistema HACCP puede aplicarse a las fases de producción y procesamiento de los alimentos de origen animal, la Unión Europea (EU, 2004) consideró que la implementación del sistema HACCP para la producción primaria de leche aún no es factible, debido a la heterogeneidad de las unidades de

producción. En su lugar, recomendó la aplicación de buenas prácticas de producción (BPP) y Procedimientos Operativos Estandarizados de Saneamiento (POES), que pueden servir como prerrequisitos del HACCP.

Bajo las condiciones de producción de leche bovina en Loma Bonita, Oaxaca y sus alrededores, la implementación parcial del sistema HACCP podría ayudar a identificar cada uno de los pasos que constituyen el proceso productivo y en los cuales pueden existir riesgos de contaminación y puntos críticos de control. Un riesgo se define como la probabilidad de ocasionar un efecto nocivo en la salud de los consumidores debido a la presencia de peligros físicos, químicos o biológicos en los alimentos (FAO-OMS, 2015). Los PCC son fases dentro de la producción de alimentos donde se puede aplicar un control para eliminar un riesgo o reducirlo a niveles aceptables (FDA, 2017). La identificación de riesgos y PCC permitiría proponer en un futuro a los productores medidas correctivas para reducir los rechazos de leche en el centro de acopio. El objetivo del presente trabajo es establecer los factores que afectan la calidad de la leche entregada en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca y relacionarlos con los riesgos y puntos críticos de control, aplicando de manera parcial el enfoque HACCP en unidades de producción de la Cuenca del Papaloapan.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Establecer los factores que afectan la calidad de la leche entregada en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca y relacionarlos con los riesgos y puntos críticos de control aplicando el enfoque HACCP en unidades productivas de la Cuenca del Papaloapan.

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar la estabilidad, carga bacteriana estimada y calidad fisicoquímica de la leche entregada por productores al centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca.
- Identificar las etapas de manejo desde el pre-ordeño hasta la entrega en el centro de acopio relacionados con la calidad de la leche.
- Identificar los riesgos en el proceso de obtención-entrega de la leche al centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca, en unidades de producción de la Cuenca del Papaloapan.
- Establecer los puntos críticos de control del manejo de la leche desde su obtención en unidades de producción de la Cuenca del Papaloapan hasta la entrega en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca

3. HIPÓTESIS

- El manejo de la leche durante la ordeña, almacenamiento y transporte presenta riesgos y puntos críticos que afectan su calidad, los cuales pueden ser identificados aplicando el enfoque HACCP en unidades productivas de la Cuenca del Papaloapan.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Herramientas para mejorar la calidad de la leche

El objetivo de las empresas pecuarias debe ser la producción de alimentos de origen animal de calidad, que sean inocuos para la salud humana. Por lo tanto, todos los eslabones que participan en la cadena agroalimentaria tienen la responsabilidad compartida de ofrecer alimentos que no causen daño en los consumidores.

En décadas pasadas, el control de la inocuidad de los alimentos se centraba en la inspección de los productos finales. Sin embargo, por las pérdidas económicas que esto implicaba, en la actualidad se prefiere abordar la inocuidad alimentaria desde un enfoque multidisciplinario, que abarque toda la cadena desde la producción primaria hasta la comercialización. Este enfoque implica la aplicación de buenas prácticas de producción y el sistema HACCP, de acuerdo con las directrices del *Codex Alimentarius* (OMS-FAO, 2011). En la industria pecuaria, las buenas prácticas de producción se conocen como Buenas Prácticas Pecuarias (BPP).

4.1.1 Sistema HACCP. Este sistema fue desarrollado en la década de 1960 por la NASA, trabajando en conjunto con la empresa Pillsbury y los laboratorios del ejército de Estados Unidos, para garantizar la inocuidad de los alimentos que utilizarían los astronautas en las expediciones espaciales. El sistema fue presentado por primera vez en la Conferencia Nacional de Seguridad Alimentaria (Weinroth *et al.*, 2018). Debido a experiencias exitosas de la aplicación del HACCP en la industria alimentaria, la OMS recomendó su uso para garantizar la inocuidad microbiológica de los alimentos (Huss, 2003). En el ámbito pecuario, el HACCP se aplicó con éxito para controlar un brote de colibacilosis en 1993, ocurrido en empanadas de pollo mal cocinadas, en una cadena de comida rápida (Weinroth *et al.*, 2018).

La implementación exitosa del sistema HACCP requiere del cumplimiento de requisitos previos. Los prerrequisitos son las prácticas o condiciones higiénicas que debe acompañar la aplicación del sistema (Gutiérrez *et al.*, 2010) que reducirá la probabilidad de que se presenten riesgos. Los aspectos que se consideran son la limpieza y desinfección, higiene personal, mantenimiento de las instalaciones, control de los proveedores y el control de plagas, de acuerdo con las directrices del *Codex Alimentarius*.

El programa de prerrequisitos se basa en la aplicación de las Buenas Prácticas de producción (BPP) y los Procedimientos Operativos Estandarizados de Saneamiento (POES). Las BPP son acciones que permiten la obtención de productos seguros para el consumo humano y se definen como el conjunto de procedimientos, principios y recomendaciones técnicas que se aplican al procesamiento de alimentos para garantizar su inocuidad y evitar su adulteración (INTI, 2012). En cambio, los POES involucran una serie de prácticas esenciales para el mantenimiento de la higiene que se aplican antes, durante y después de las operaciones de elaboración, siendo condición clave para asegurar la inocuidad de los productos en cada una de las etapas de la cadena alimentaria (OPS, 2012).

El principal beneficio de la aplicación de los prerrequisitos, es que los planes de HACCP disminuyen el número de PCC a identificar, manteniendo un control riguroso sobre las etapas que son realmente críticas para establecer la inocuidad de un alimento (Cruz *et al.*, 2006). Muchos de los obstáculos con los que se encuentran las empresas o unidades de producción al momento de implementar y mantener sistemas de HACCP se deben a errores relacionados con requisitos previos, tales como la limpieza y desinfección o la formación y motivación del personal que manipula los productos alimenticios en algún paso de su proceso de producción. Por lo tanto, la implementación del sistema HACCP debe contemplarse como la suma del sistema y los requisitos previos (González, 2007).

La unidad de producción o empresa en la que se pretenda aplicar el sistema HACCP, tiene la responsabilidad de proporcionar toda la información solicitada, incluyendo los registros y resultados de los monitoreos de la higiene. Estos documentos ayudarán a diseñar las medidas preventivas para reducir o evitar los riesgos durante el proceso de producción. Una de las grandes limitaciones en las unidades de producción pecuarias pequeñas radica en que la mayoría opera sin basarse en las BPP. Lo anterior, implica que las empresas interesadas en aplicar e HACCP primero tienen que documentarse y establecer un plan para cumplir con el programa de requisitos. Una vez cumplidos estos, se estará en posición de implementar el sistema (Birhanu *et al.*, 2017).

4.1.1.1. Los siete principios del HACCP. El sistema HACCP tiene el objetivo garantizar la inocuidad de los productos alimenticios mediante la evaluación y estimación de riesgos, así como el establecimiento de medidas de control específicas que enfatizan la prevención en lugar de asumir que se cumple la calidad en el producto final (Kassem *et al.*, 2002).

El sistema HACCP consta de varios pasos o actividades secuenciales que se deben aplicar de manera obligatoria para que su implementación sea exitosa, de acuerdo con las directrices del *Codex Alimentarius* (Suárez *et al.*, 2007). A estos pasos se les conoce como los siete principios del HACCP y se enlistan a continuación:

Principio 1. Realizar un análisis, que identifique los posibles riesgos asociados con la producción de alimentos en todas las fases, desde la etapa de producción primaria hasta que el producto llega al consumidor. El propósito es desarrollar una lista de riesgos que potencialmente puedan causar lesiones o enfermedades si no se controlan de forma efectiva (FDA, 2017). Se incluyen en este análisis los insumos requeridos en cada etapa del proceso productivo, o bien, durante el almacenamiento y distribución del producto. Siempre se debe tener presente que la identificación de riesgos se relaciona de manera estrecha con el tema de la inocuidad de los alimentos y no con la calidad de estos. Con la identificación de los riesgos y sus medidas de control asociadas, se pueden identificar las

modificaciones necesarias para mejorar la inocuidad del producto. Asimismo, este principio es indispensable para determinar los PCC en el Principio 2.

Principio 2. Determinar los PCC. Los PCC son las etapas o pasos en las que se puede aplicar un control, para prevenir o eliminar un peligro para la inocuidad de los alimentos, o para reducirlo a un nivel aceptable. Por ello, la información obtenida en el Principio 1 es fundamental para que el equipo HACCP identifique que pasos del proceso corresponden realmente a un Punto Crítico de Control (PCC). Los puntos críticos generalmente están asociados con valores de temperatura, pH o tiempo. Para simplificar el proceso, generalmente se utilizan como herramienta los árboles de decisiones.

Principio 3. Establecer límites críticos que deberán alcanzarse para asegurar que el PCC este bajo control. Un límite de control se establece con un valor máximo o mínimo al que debe ajustarse un parámetro biológico, físico o químico en un PCC para prevenir, eliminar o reducir un peligro para la inocuidad del alimento, a un nivel aceptable. Se reconoce que todos los valores que permanezcan dentro del intervalo establecido garantizarán la inocuidad del alimento.

Principio 4. Establecer un sistema de vigilancia para asegurar que el PCC esté bajo control. El sistema de vigilancia consiste en una secuencia planificada de observaciones o mediciones para evaluar si un PCC está bajo control y generar evidencias para su uso futuro en la verificación. Este principio tiene tres propósitos: 1) facilita el seguimiento del manejo de la inocuidad alimentaria. Si se detecta que hay una tendencia hacia la pérdida de control, se pueden tomar acciones para que el proceso vuelva a estar bajo control antes de que se desvíe de sus límites críticos. 2) permite identificar cuando existe una desviación de los PCC. 3) proporciona evidencia escrita para su uso en la verificación. Idealmente, el monitoreo debe ser continuo y rápido, lo cual permitirá retener en tiempo real el producto que no haya cumplido con los límites críticos del principio anterior.

Principio 5. Establecer medidas correctivas que se deben adoptar cuando el monitoreo indique que un PCC no está bajo control. En la elaboración de un producto alimenticio, a veces no se reúnen las circunstancias ideales, por lo que pueden ocurrir desviaciones de los límites críticos establecidos previamente. El principal objetivo de las acciones correctivas es evitar que un alimento que se está produciendo en condiciones inadecuadas, llegue a los consumidores. Cuando ocurren desviaciones de los límites críticos, se establecen acciones correctivas. Para cumplir con lo anterior, primero se debe identificar y corregir la causa de la desviación; luego determinar la disposición del producto que no cumple; finalmente, registrar las acciones correctivas que se han aplicado. En el momento que se elabora el plan HACCP, se deben especificar con anticipación las acciones correctivas para cada PCC, quién es el responsable de implementarlas y cómo se deben registrar las acciones.

Principio 6. Establecer procedimientos de verificación, incluidas pruebas y procedimientos complementarios, para comprobar que el sistema de HACCP funciona eficazmente. La verificación consiste en aquellas actividades que se realizan para comprobar que el sistema HACCP está operando de acuerdo con lo programado. Se considera que, el punto central del sistema HACCP se resume en la identificación correcta de los riesgos, establecimiento de los PCC y límites críticos y la instauración de procedimientos de verificación adecuados. Cuando el sistema HACCP está operando de manera adecuada, se requieren pocas pruebas para comprobar la inocuidad del producto final. Lo anterior quiere decir que en lugar de esperar que el producto final esté terminado y hacerle pruebas, se requiere que a lo largo del proceso se establezcan procedimientos de verificación para cada PCC identificado, con ello, se establecerá el valor de las acciones correctivas aplicadas. Es recomendable que además de la verificación integral exhaustiva aplicada por el equipo HACCP, se haga una verificación extra por un ente independiente, con el fin de identificar deficiencias no detectadas. Así, las actividades de verificación pueden ser realizadas por individuos dentro de la empresa, expertos externos que fungen como asesores y por agencias reguladoras.

Principio 7. Establecer un sistema de documentación sobre todos los procedimientos, y los registros apropiados a estos principios y a su aplicación. Los registros utilizados en el sistema HACCP deben contener, entre otras cosas, un resumen de análisis de riesgos, incluida la justificación para determinar los riesgos y las medidas de control, el plan HACCP, el listado del equipo HACCP y responsabilidades asignadas, descripción del producto alimenticio, y su uso previsto por el consumidor, diagrama de flujo verificado, tabla de resumen del plan HACCP especificando los pasos del proceso que son PCC, riesgos de interés, límites críticos especificados, vigilancia o monitoreo, acciones correctivas, procedimientos y cronograma de verificación y procedimientos de mantenimiento de registros (FDA, 2017).

4.1.2 BPP. Las BPP son un conjunto de procedimientos, actividades, condiciones y controles que se aplican en unidades de producción de animales con el fin de disminuir los peligros y riesgos zoonosológicos y promover la obtención de productos inocuos para la alimentación humana (SENASICA, 2019).

De acuerdo con el *Codex Alimentarius* (OMS-FAO, 2011), las BPP incluyen la producción primaria (instalaciones, manejo de los animales, higiene del personal), procesamiento de la materia prima, transporte, cuestiones de comercialización y la capacitación del personal involucrado en la cadena agroalimentaria.

Desde el punto de vista de la inocuidad alimentaria, las BPP son parte de los prerrequisitos para implementar a nivel de la unidad de producción sistemas más complejos como el HACCP o de cualquier otro sistema de calidad que busque la mejora continua en la industria alimentaria.

Las buenas prácticas de producción se aplican a instalaciones, alimentación, el agua utilizada, sanidad, reproducción, manejo y eliminación de desechos, así como el bienestar animal. Por su importancia en la calidad de la leche, a continuación, se abordarán algunos aspectos de las buenas prácticas de ordeño.

4.1.2.1 Buenas prácticas de ordeño. Se definen como una serie de procedimientos que se realizan para extraer la leche de las vacas, buscando el riesgo mínimo de contaminación de la leche por agentes presentes en el organismo de los animales o en el ambiente.

Las buenas prácticas de ordeño representan una pieza fundamental dentro del manejo de la leche para garantizar su buena calidad, tanto para consumo directo o la fabricación de subproductos (FAO, 2011).

La aplicación de las buenas prácticas de ordeño comienzan con las actividades previas a tal actividad, que incluyen la selección de un lugar apropiado para realizar el ordeño, el personal debe observar medidas de higiene, enjuagar los pezones con agua abundante y secarlos con toallas limpias, realizar el despunte eliminando los primeros tres chorros de leche de cada pezón, realizar el pre sellado con soluciones antisépticas y dejar actuar el producto por 30 segundos, finalmente, retirar el pre-sellador con toallas limpias (SVN, 2017; SENASICA, 2019).

Durante el ordeño, las buenas prácticas se extienden a llevar un orden en los animales. Se comienza ordeñando a las vacas recién paridas con el fin de separar la leche, posteriormente se ordeñan las vacas que no presentan ningún tipo de problema y finalmente las vacas con tratamiento médico. Si el ordeño es manual, los pezones deben manipularse de manera delicada. En el ordeño mecánico, se debe vigilar que las pezoneras tengan una presión correcta y que se mantengan una posición vertical durante la extracción de la leche. Es importante evitar el sobreordeño, para ello, las pezoneras se deben retirar en un lapso no mayor a 10 min después del inicio (SENASICA, 2019).

Al finalizar el ordeño, se retiran las pezoneras y se sumergen en soluciones desinfectantes y se lleva a cabo el sellado de los pezones utilizando una solución a base de yodo. El sellador al secarse forma una película que evita la entrada de microorganismos al canal del pezón (SVN, 2017). Por esa razón, esta actividad

es un punto clave para garantizar la calidad microbiológica de la leche y evitar los problemas de mastitis (SENASICA, 2019).

4.2. Calidad de la leche

La leche cruda de vaca se define como un producto destinado para el consumo humano, que proviene de la secreción natural de las glándulas mamarias, sin calostro y sin sustracción de sus componentes, que no ha sido sometida a tratamiento térmico (LICONSA, 2007). La leche es rica en diversos nutrientes, por ello, puede ser afectada por factores tales como las características de los animales o el manejo que se hace de ellos. Mortensen *et al.* (2010) mencionan que la calidad de la leche es afectada por la genética, alimentación, número de lactancia y el manejo de la vaca. Asimismo, la calidad de la leche que se entrega en los centros de acopio, o de la leche procesada, depende directamente de la calidad de la materia prima original, de las condiciones de transporte, almacenamiento y manipulación, desde su extracción hasta su llegada a la planta pasteurizadora (SNV-DTC, 2017).

De acuerdo con Ferraro (2012), se considera que la leche es de buena calidad cuando muestra las siguientes características:

- Proviene de vacas sanas bien alimentadas
- Está libre de olores, sedimentos y sustancias extrañas
- Sus componentes cumplen en cantidad y calidad con lo especificado en la normatividad del país
- Presenta niveles bajos de carga bacteriana
- Está libre de bacterias y toxinas causantes de enfermedades zoonóticas
- No contiene residuos químicos e inhibidores
- Contiene niveles bajos de células somáticas

La calidad de la leche cruda se puede abordar desde varios aspectos, incluyendo la cantidad de microorganismos presentes que pudieran modificar sus

características, la presencia de agentes que pueden causar enfermedad en humanos, o bien, sus características nutricionales. Así, la calidad de la leche puede evaluarse desde el punto de vista higiénico, sanitario y nutricional.

4.2.1. Calidad higiénica. La calidad higiénica se refiere a la cantidad de microorganismos presentes en la leche y determina las características de los subproductos y la vida de anaquel de estos. En términos generales, cuando la leche proviene de una glándula mamaria sana, presenta conteos bajos de microorganismos, ya que la contaminación del equipo y las condiciones del ordeño hacen imposible la esterilidad del producto. A medida que se incrementa la cantidad de microorganismos en la leche, comienza a ocurrir una degradación significativa de grasa, proteína y lactosa (SNV-DTC, 2017), lo que conduce a sabores desagradables y una reducción en el tiempo con el que se cuenta para procesarla o almacenarla (Harding, 1995).

La contaminación de la leche puede tener tres fuentes: interior de la ubre, exterior de la ubre y equipo y utensilios utilizados durante el ordeño, almacenamiento y transporte. Así, las vacas con mastitis producen leche con conteos altos de bacterias, constituyendo un riesgo de contaminación al mezclarse con la leche proveniente de vacas sanas. El exterior de la ubre también es una fuente muy importante de contaminación bacteriana. La falta de higiene adecuada en la ubre previo al ordeño, en las instalaciones o en el proceso de ordeño pueden provocar la contaminación de la leche y elevar los conteos de microorganismos. Otra fuente no menos importante de contaminación está representada por el equipo y utensilios utilizados en el manejo de la leche, como las pezoneras de las máquinas ordeñadoras, las vías de conducción y tanques de almacenamiento (SNV-DTC, 2017).

Aunque las fuentes de contaminación antes mencionadas contribuyen con la mayor parte de la carga de microorganismos, se debe prestar atención especial a la higiene con la que se realiza el manejo de la leche por parte de los ordeñadores. Lo anterior implica la realización de algunas actividades como el lavado en seco de la ubre para retirar la mayor parte de la suciedad, el despunte

o eliminación de los primeros chorros de leche de cada glándula mamaria; los cuales presentan un alto contenido de bacterias; la utilización de filtros de malla para eliminar sedimentos, el establecimiento de un programa de control de la mastitis y la limpieza adecuada de las líneas de conducción de la leche o de los utensilios de almacenamiento temporal (Harding, 1995).

La multiplicación de las bacterias en la leche depende de la temperatura y tiempo de almacenamiento. Una vez extraída, la leche debe enfriarse lo antes posible a una temperatura entre 2 y 4 °C para evitar el crecimiento bacteriano (Harding, 1995; SNV-DTC, 2017). En el caso de las unidades de producción que carecen de un sistema de refrigeración, se recomienda entregar la leche a la planta pasteurizadora lo antes posible, con ello, se evitará el crecimiento bacteriano rápido y la degradación de las características de la leche.

4.2.2. Calidad sanitaria. La calidad sanitaria de la leche implica la ausencia de agentes que causan enfermedad en los humanos. Entre las enfermedades zoonóticas que son transmitidas a través de la leche y que tienen una significancia importante en la salud pública se encuentran la tuberculosis, brucelosis, salmonelosis y el ántrax (Rahman *et al.*, 2020).

Los contaminantes químicos como toxinas y restos de fármacos también contribuyen a deteriorar la calidad sanitaria de la leche y representan un peligro para la salud de los consumidores (Becker *et al.*, 2010). A pesar de que existen muchos agentes químicos que pueden contaminar la leche, las aflatoxinas constituyen uno de los principales peligros para los consumidores, debido a que el ganado especializado en la producción de leche es alimentado con granos y forrajes que pueden ser colonizados por hongos. Se ha logrado establecer que existe una relación directa entre la cantidad de aflatoxinas consumidas por el animal y las que se detectan en la leche (Becker *et al.*, 2010). Creppy (2002) menciona que 0.3-6.2 % de las aflatoxinas ingeridas por el animal, se excretan en la leche. Por otro lado, los fármacos que mayores repercusiones tienen en la calidad sanitaria de la leche son los antibióticos, ya que los residuos de antibióticos en leche se han asociado con el incremento de casos de alergias en

personas sensibles, alteraciones en la flora intestinal y resistencia bacteria. Además, desde un punto de vista industrial, los residuos de antibióticos afectan el proceso de elaboración de quesos, ya que inhiben el crecimiento de las bacterias responsables de acidificar la leche (Tornadijo *et al.*, 1998).

4.2.3. Calidad composicional de la leche. Se refiere al porcentaje de componentes químicos presentes en la leche, tales como proteína, grasa, lactosa, minerales, vitaminas, sólidos no grasos, sólidos totales, vitaminas y minerales. Los componentes de la leche no siempre se encuentran en la misma proporción y dependen de las variaciones de los factores ambientales, genéticos y fisiológicos (Hazard y Christen, 2006). En la leche bovina, el agua es el elemento que ocupa la mayor proporción con 87 % del total. El 13 % restante corresponde a los sólidos totales, de los cuales sobresalen la grasa (3.7 %), proteína (3.4 %), lactosa (4.8 %) y cenizas (0.7 %) (LICONSA, 2007; SNV-DTC, 2017).

La determinación del contenido en grasa en la leche es muy importante, ya que este componente determina en gran medida el rendimiento para la elaboración de subproductos. Por ello, este parámetro se utiliza para fijar precios en el sistema de pagos diferenciados a productores y para detectar adulteraciones. La grasa es uno de los componentes más costosos, por lo que ha sido blanco de diversas alteraciones de la leche empleando sustitutos más baratos, como las grasas vegetales (Nurseitova *et al.*, 2021). Por ello, algunos de los métodos para medir la calidad de la leche se enfocan en identificar la adulteración de la grasa en leche. Sin embargo, lo anterior es una tarea complicada debido a que los métodos utilizados son tardados y costosos (Harding, 1995).

Las proteínas son otro componente que determina las características de la leche y son importantes en la nutrición de los humanos. Debido a que existen muchos métodos que miden su contenido de una manera relativamente fácil, la determinación de la proteína se ha utilizado como parámetro para establecer el sistema diferenciado de pagos a los productores. La medición de la proteína de la leche se lleva a cabo de manera indirecta mediante la determinación del

nitrógeno a través del método Kjeldahl. Del nitrógeno identificado en la leche, se ha determinado que el 76 % corresponde a caseína, 18 % a proteínas del suero y 6 % a nitrógeno no proteico (Harding, 1995). El contenido de proteína en la leche es importante desde el punto de vista comercial, porque contribuye en alta proporción en la elaboración de quesos.

Aunque la lactosa ocupa proporcionalmente el primer lugar entre los sólidos totales, desde el punto de vista comercial y nutricional es el menos importante. En los animales lactantes, la lactosa es una fuente primaria de energía, sin embargo, en los animales adultos pierde importancia debido a que después del destete, no vuelven a consumir leche (Labayen y Martínez, 2003). La lactosa tiene un papel importante en los productos lácteos condensados y funciona como sustrato para las bacterias benéficas utilizadas en la elaboración de yogures y quesos (Solomons, 2002).

Además de los elementos antes mencionados, la leche de vaca es una fuente importante de minerales como el sodio, potasio, magnesio, manganeso, hierro, cobalto, cobre, fósforo y especialmente, el calcio (Agudelo y Bedoya, 2005). Aunque el contenido de las sales minerales no llega al 1 % del total, si son muy importantes en el aporte nutricional. Las sales de calcio, potasio, sodio y magnesio se encuentran en forma de fosfato dicálcico, cloruro sódico o caseinato cálcico (Caballero y Villa, 2010). El calcio es el macromineral más abundante de la leche y especialmente importante en la salud de los huesos y dientes en humanos en crecimiento y personas de la tercera edad (Kaushik *et al.*, 2014). Además, también participa en la coagulación, en la sinapsis neuromuscular y en la contracción de los músculos.

La leche de vaca también es una fuente importante de vitaminas A, D, E y K, así como algunas integrantes del complejo B como la tiamina, riboflavina, piridoxina, cianocobalamina y ácido fólico (Agudelo y Bedoya, 2005). Las vitaminas son importantes porque participan en diferentes procesos bioquímicos dentro del organismo y su deficiencia puede desencadenar diferentes trastornos metabólicos.

4.3. Factores que afectan la calidad de la leche

La calidad de la leche es importante desde el punto de vista económico, tanto para los productores de leche como para la industria procesadora. Existen varios factores que afectan la calidad de la leche, entre los que destacan los genéticos, sanitarios, ambientales y de manejo de los animales.

4.3.1. Factores genéticos. La raza es uno de los factores con mayor incidencia sobre la calidad de la leche bovina. De manera general, la leche de las vacas que tienen una mayor producción es baja en sólidos totales. El contenido potencial de grasa, proteína y lactosa se determina de manera genética. De todos los componentes de la leche, la grasa es la que ofrece una mayor variación entre razas, seguida de sólidos no grasos, lactosa y proteína (Harding, 1995). Así, en las razas Jersey y Guernsey, el porcentaje de grasa en leche es más alto, comparado con la raza Holstein. Asimismo, dentro de la misma raza, la cantidad de grasa en leche también muestra una gran variabilidad, pudiéndose identificar animales con un mayor porcentaje.

El mejoramiento genético se puede utilizar para incrementar la calidad de la leche. Para ello, se requiere contar con los registros de producción total de leche, porcentajes de grasa y sólidos no grasos del hato, ya que estos parámetros determinarán qué animales se seleccionan como progenitores para obtener reemplazos (Restrepo *et al.*, 2008).

4.3.2. Factores climáticos. Los factores climáticos también influyen de manera significativa en la producción y calidad de la leche. El efecto de los factores climáticos sobre la calidad de la leche es variable y depende de la edad de los animales, su condición corporal, plano de nutrición y nivel de producción. Se ha determinado que la temperatura ambiental tiene un mayor efecto en los animales más pequeños, ya que éstos ganan o pierden calor de manera más rápida. Asimismo, las vacas en lactancia suelen ser resistentes al frío, pero

altamente susceptibles a las altas temperaturas ambientales debido al calor metabólico generado por el aumento en el consumo de alimento.

La raza es otro factor que influye en la respuesta a las condiciones climáticas. Las vacas *Bos taurus* se originaron en latitudes altas, mientras que las *Bos indicus* evolucionaron en los trópicos. Esta diferencia filogenética se refleja en una menor tasa metabólica de las vacas *Bos indicus*, debido a que consumen menos alimento y producen menos leche. Así, se ha determinado que la temperatura ambiental óptima en las razas europeas es de 10 °C; cuando la temperatura sobrepasa los 30 °C, la producción de leche comienza a disminuir (Arias *et al.*, 2008). Las temperaturas ambientales altas se relacionan principalmente con una reducción de la producción de leche, afectando a las vacas más productivas y teniendo un mayor impacto durante el pico de la lactancia.

La época del año modifica la calidad composicional de la leche de dos maneras. Primero, las temperaturas ambientales altas se relacionan con una disminución del consumo voluntario de alimento, lo cual provocará una disminución de la producción de leche y de su contenido de grasa, proteína y lactosa (Harding, 1995). Segundo, durante la época de sequía las vacas producen menos leche, aunque los porcentajes de grasa y sólidos no grasos son mayores. Por el contrario, en la época de lluvias la cantidad de leche producida aumenta, mientras que el porcentaje de grasa y de sólidos no grasos es menor. A este fenómeno se le conoce como efecto de dilución y está influenciado por la cantidad de leche producida (Briñez *et al.*, 2008).

4.3.3. Factores fisiológicos. Algunos factores como la edad y la etapa de lactancia influyen en el rendimiento de los componentes de la leche (González *et al.*, 2010). Por cada lactancia sucesiva el contenido de grasa disminuye 0.05 % y el contenido de sólidos no grasos 0.1 %, por unidad de porcentaje (Harding, 1995). Esto se debe a que después de la primera lactancia, las vacas incrementan gradualmente su producción de leche, alcanzando los mayores niveles entre el tercer y quinto parto (Arce *et al.*, 2017). Posteriormente, los

niveles de producción de leche se mantienen relativamente constantes y comienzan a disminuir después de los 12 años de edad (Harding, 1995).

La composición de la leche también cambia con la etapa de la lactancia. Durante los primeros cinco días posparto, la glándula mamaria secreta calostro con alto contenido de proteína, grasa y minerales como el calcio, sodio, magnesio, fósforo y cloro; también se observa una menor cantidad de lactosa y potasio (McGrath *et al.*, 2016). Posteriormente, se establece la producción de leche, alcanzando su pico de producción entre los 30 y 45 días posparto (Ray *et al.*, 1992). Con el incremento de la producción, se establece el efecto de dilución previamente señalado. Después del pico de producción, los componentes sólidos de la leche comienzan a incrementarse, hasta el fin de la curva de lactancia.

4.3.4. Factores nutricionales. La nutrición es el principal factor que influye en la composición de la leche, por ello, las dietas de las vacas pueden ser manipuladas para mejorar la composición de la leche y su rendimiento.

La glándula mamaria obtiene a partir de los alimentos, los precursores necesarios para sintetizar la grasa de la leche (Seymour *et al.*, 2005). Se ha observado que cuando las vacas consumen una cantidad baja de forraje, hay una disminución de acetato y butirato, que son los principales precursores de las grasas (Calvache y Navas, 2012). Lo anterior provoca que la cantidad de grasa en leche disminuya. En vacas lecheras se ha recomendado que la proporción mínima entre el forraje y el alimento concentrado debe ser de 40:60, con un tamaño de partícula del forraje mayor a 0.65. Con estas características de la dieta, el contenido de grasa en leche es de al menos 3.6 % (Harding, 1995). El tipo de concentrado utilizado en la ración también afecta el porcentaje de grasa de la leche. Los granos molidos aumentan la producción de propionato en rumen y disminuyen la cantidad de grasa en leche. Una opción para incrementar la grasa en leche consiste en proporcionar carbohidratos solubles a base de suero o melaza, lo cual favorece el crecimiento de bacterias que producen acetato en rumen. Otras opciones que se han contemplado para incrementar la cantidad de grasa en la leche son proporcionar grasas saturadas en la dieta, incorporando a la dieta semillas de

oleaginosas enteras o trituradas o proporcionado grasas de sobrepaso que son protegidas para evitar la degradación por los microorganismos del rumen (Harding, 1995).

La cantidad de proteína en leche está influenciada por la ración que se les proporciona a las vacas, así como por el metabolismo de los microorganismos del rumen. En dietas con bajo contenido de forraje, se incrementa la producción de propionato, lo que promueve la síntesis de proteínas en leche por un aumento de la disponibilidad de glutamato (Calvache y Navas, 2012). Asimismo, el almidón de la dieta favorece la síntesis de proteínas debido a que es utilizado por los microorganismos del rumen como fuente de energía para crecer y sintetizar proteínas. La alimentación de metionina protegida o harina de gluten de maíz también puede aumentar el porcentaje de proteína de la leche (Harding, 1995).

4.3.5. Factores de manejo de la leche. Dentro de estos factores se pueden incluir el ordeño, el almacenamiento, el transporte y las condiciones de entrega en el centro de acopio. A continuación, se mencionan las particularidades de cada uno de los factores mencionados y su repercusión en la calidad de la leche.

4.3.5.1. Ordeño. El ordeño es el proceso de extraer leche de las glándulas mamarias de las vacas en periodo de lactancia y es la actividad más importante en las unidades de producción lecheras. Durante el ordeño, existen muchas prácticas que pueden interferir con la calidad de leche. Una buena rutina de ordeño implica aplicar una serie de medidas higiénicas y de manejo. Esto permite reducir considerablemente la contaminación microbiana de la leche, aumentar la producción, acortar el tiempo de la ordeña y reducir la transmisión de organismos patógenos contagiosos y ambientales que pueden causar mastitis (Philpot y Nickerson, 1993).

Antes de realizar el ordeño, el productor se debe asegurar que las instalaciones donde lo realiza estén limpias, que el arreo de la vaca se realice de manera gentil, que la actividad se realice en un horario fijo y que la vaca sea inmovilizada

evitando con ello la movilidad de patas y cola que pueden contaminar los recipientes y la leche (FAO, 2011). También se debe considerar el lavado de manos de los ordeñadores y de los recipientes que estarán en contacto con la leche. Un manejo estresante antes del ordeño puede interferir con la actividad del sistema inmune y los mecanismos de defensa de la glándula mamaria, lo que incrementa el riesgo de infecciones (Kruze, 1998). El estrés también provoca la liberación de adrenalina, hormona que antagoniza con la oxitocina durante el mecanismo de bajada de la leche. Como consecuencia, las vacas se ordeñan de manera incompleta, dando lugar a una mayor incidencia de mastitis (Guízar y Bedolla 2008).

Al realizar el ordeño, el personal se debe asegurar de realizar un lavado de los pezones evitando mojar toda la ubre, utilizar toallas limpias para secar los pezones. El ordeño debe realizarse a la misma hora todos los días; los pezones deben manipularse de manera delicada y en un lapso no mayor a siete minutos (min), de otra manera, quedará leche residual lo que incrementará el riesgo de mastitis (Krawczel *et al.*, 2017). El secado de los pezones representa uno de los principales pasos para controlar las infecciones de la glándula mamaria y se logra utilizando soluciones a base de yodo (FAO, 2011).

Las actividades que se deben realizar posterior al ordeño son el colado de la leche recién ordeñada para reducir la contaminación por agentes físicos, el lavado de los utensilios que estuvieron en contacto con la leche y la limpieza de las instalaciones donde se realizó el ordeño (SVN, 2017).

4.3.5.2. Recolección y traslado. La recolección es un paso fundamental en el manejo de la leche para garantizar su calidad y consiste en la permanencia de la leche en el recipiente que se almacena, previo a su transporte al centro de acopio. La recolección varía de acuerdo a las características de los sistemas de producción. En la lechería especializada, la recolección y almacenamiento se logra mediante un sistema automatizado constituido por tubos, bombas de vacío y tanques de enfriamiento (DeLaval®, 2023), que ofrece la posibilidad de manipular la leche sin que entre en contacto con elementos de

la sala de ordeña, una vez extraída. En cambio, los pequeños productores prefieren puntos de recolección de leche que están protegidos del sol, con lo cual se busca reducir al máximo el aumento de temperatura. Sin embargo, tienen muchas dificultades para establecer un sistema viable de recolección, debido a los volúmenes de leche tan reducidos que producen y a la lejanía entre las unidades de producción (FAO, 2023a).

El traslado es otro paso dentro del manejo de la leche que influye de manera significativa en su calidad, por lo que es importante realizarlo de forma correcta. El traslado puede representar un reto para los productores, debido a que muchas veces tienen que viajar largas distancias para entregar su producto, repercutiendo en un incremento de los costos.

Cuando la leche proviene de unidades de producción grandes, el transporte se realiza en camiones cisterna que garantizan que la leche se mantenga a temperaturas bajas, independientemente de la distancia que se tenga que recorrer (SVN, 2017). Los pequeños productores transportan la leche de manera individual en recipientes de diferentes materiales, que pueden ir desde cubetas y garrafas de plástico hasta recipientes de barro o metálicos. Otra modalidad de transporte consiste en que varios pequeños productores se organizan para recolectar la leche en tanques de enfriamiento y posteriormente la trasladan en conjunto. Esta modalidad es especialmente útil para aquellos ganaderos que producen volúmenes pequeños, o los que se encuentran a una gran distancia del centro de acopio. El medio de transporte al tanque de enfriamiento o centro de acopio puede ser en caballos, motocicletas o camionetas, sin que haya un sistema de enfriamiento (FAO, 2023a). En este caso, la duración del transporte es primordial para garantizar un producto de calidad, ya que entre más tiempo pase, el crecimiento bacteriano es mayor y las propiedades de la leche se modifican (SVN, 2017).

Las recomendaciones generales para el manejo de los recipientes que se utilizan en el almacenamiento y transporte de la leche incluyen el uso de recipientes

metálicos que sean fáciles de lavar, la limpieza adecuada con agua y jabón para eliminar todo tipo de residuo

4.3.5.3. Entrega en el centro de acopio. El acopio consiste en captar el mayor volumen de leche disponible a partir de las unidades de producción, en el menor tiempo posible. Por ello, es indispensable realizar la entrega adecuada del producto para evitar la contaminación de la leche que se manejó correctamente en los pasos previos. Para evitar la contaminación de la leche, el centro de acopio debe contar con materiales y equipos, así como procedimientos que preserven la calidad e inocuidad de la leche.

La persona encargada del centro de acopio tiene tres responsabilidades. Primero, actuar como evaluador de la calidad de la leche, verificando que se cumpla con las especificaciones de recepción y, en caso de rechazo, encontrar las causas del mismo. Segundo, ser responsable de mantener la calidad de la materia prima que recibió, aplicando medidas de higiene y el manejo correcto de la leche que implica siempre mantenerla en enfriamiento y realizar el transporte rápido. Finalmente, ser un punto estratégico de coordinación, visualizando al productor como una pieza clave para lograr la calidad del producto. Para ello, le debe facilitar expresar sus necesidades y limitaciones para producir leche de calidad (SEDESOL-LICONSA, 2011).

4.4. Sistemas de pago por calidad de la leche

En la industria lechera, el costo de la materia prima (leche cruda), representa el 70 % de los costos de producción (Harding, 1995). Por ello, es imprescindible que el precio pagado por cada litro que entrega el productor a la planta pasteurizadora se relacione directamente con su calidad composicional. De esta manera, la industria garantiza obtener materia prima de calidad a un precio razonable, sin afrontar los riesgos que implica la producción primaria.

La calidad de la leche es la base para que la mayor parte de los procesos de valor agregado tengan éxito. Por tal motivo, varios países han implementado

sistemas de pagos diferenciados que priorizan la calidad de la leche, en lugar de la cantidad producida. Este tipo de sistemas se basan en diferentes criterios como la composición de la leche, la calidad higiénica, el control de residuos de antibióticos y el recuento de células somáticas (SADER-LICONSA, 2019).

Clasificar la leche de acuerdo con su calidad composicional tiene el objetivo de diferenciar los pagos a los productores y utilizar como base las penalizaciones como un incentivo para mejorar la calidad. La leche con mayor cantidad de grasa, proteína y lactosa es la que tiene un mayor rendimiento para la elaboración de subproductos, por ello, es la que se paga mejor.

La calidad higiénica se refiere a la cantidad de bacterias presentes en la leche. Se considera que la leche que se obtiene de una glándula mamaria está prácticamente libre de bacterias. Por lo tanto, un recuento alto de bacterias en la leche indica que no se llevaron a cabo las buenas prácticas de ordeño ni un manejo adecuado posterior a su extracción. Un contenido alto de bacterias en la leche se relaciona con el deterioro de sus características y un rendimiento menor en su uso industrial. El recuento de bacterias permitido varía de un país a otro, pero en términos generales los límites van de 100,000 a 200,000 bacterias mL⁻¹ (Harding, 1995).

Otro criterio para evaluar la calidad de la leche es la presencia de residuos de antibiótico. En general, la leche debe estar libre de residuos de antibióticos porque estos pueden interferir con el crecimiento de microorganismos utilizados para producir productos como el yogur y queso. Además, los residuos de antibióticos pueden causar alergias o resistencia a antimicrobianos en humanos. En México, los residuos de antibióticos en leche son detectados mediante un kit comercial (LICONSA, 2017).

Un último criterio que se considera en los sistemas de pagos diferenciados es el recuento de células somáticas. Este parámetro es un indicador del estado de salud de la ubre. Una alta cantidad de células somáticas significa que está ocurriendo un proceso inflamatorio en el tejido mamario y, como consecuencia,

las características de la leche pueden modificarse. Por ello, aunque no es un parámetro que determine el rechazo de la leche, si se utiliza como criterio para imponer sanciones económicas a los productores que entregan leche con un alto contenido de células somáticas (SADER-LICONSA, 2019).

El pago basado en la calidad de leche puede tener un impacto económico beneficioso en la rentabilidad de las unidades de producción. En México, el gobierno ha tratado de incorporar a los pequeños productores al sistema de pagos diferenciados, buscando incentivar la producción de leche de calidad e incorporar a los pequeños productores a programas de beneficio social (SEDESOL-LICONSA, 2011).

4.5. Parámetros utilizados en el monitoreo de la calidad de leche

Al llegar la leche al centro de acopio, se realizan diferentes pruebas para evaluar su calidad. Las más comunes son la prueba de alcohol, determinación de los contenidos de grasa y proteína, acidez, punto crioscópico, densidad, prueba de reductasa y contenido de células somáticas. A continuación, se describen las particularidades y el fundamento de cada prueba:

4.5.1 Prueba de alcohol. Se basa en la propiedad del alcohol para deshidratar algunos coloides hidrofílicos (como la caseína), presentes en la muestra de leche. Normalmente, la caseína se encuentra estable a un pH de 6.8 (Carrisoza, 2022). En un medio con mayor acidez esa estabilidad se rompe y las micelas de proteína se comienzan a precipitar. Para detectar un desequilibrio en la leche, se agrega alcohol al 72 %, lo cual promueve la floculación de las sustancias coloidales en reacciones positivas (NMX-F-700-COFOCALEC-2012). La leche inestable formará grumos o se coagulará al incrementar la temperatura, no considerándose apta para su industrialización (Molina *et al.*, 2001).

La prueba de alcohol consiste en agregar a la reacción 2 mL de leche y un volumen similar de alcohol etílico al 72 %. Posteriormente la reacción se mezcla

por rotación y se realiza la lectura. La formación de grumos se considera una reacción positiva (NMX-F-700-COFOCALEC-2012).

4.5.2 Determinación de grasa, proteína, lactosa y sólidos no grasos (SNG). Existen varias pruebas para determinar la cantidad de estos componentes. Así, para determinar la cantidad de grasa y proteína se utiliza principalmente los métodos Gerber y Kjeldahl, respectivamente, mientras que para cuantificar de manera directa los SNG se puede utilizar el lactómetro de Bertuzzi (Carrisoza, 2022). La cuantificación de lactosa se realiza por medio de cromatografía líquida (NOM-155-SCFI-2012). Sin embargo, actualmente se han desarrollado equipos más complejos que, de forma automatizada, permiten la determinación de los componentes de la leche mediante espectroscopía infrarroja o por ultrasonografía. La espectrofotometría infrarroja utiliza como fundamento la capacidad que tienen algunos átomos para mostrar frecuencias de absorción vibracional, que son características de esa región del espectro electromagnético (Hernández, 2022). En cambio, la determinación de los componentes de la leche por ultrasonografía se basa en la capacidad que tienen las ondas de sonido de propagarse a través de fluidos, gases, sólidos y tejidos biológicos. Por lo tanto, los ultrasonidos son ondas acústicas que viajan a través de un medio en frecuencias de 16 kHz y 1 MHz (Chávez-Martínez *et al.*, 2020). La determinación de las características de la leche bovina obtenidas mediante ultrasonografía es equiparable a las que se determinan por espectrofotometría infrarroja (Troller *et al.*, 2008). Por lo tanto, ambos métodos pueden ser una opción rápida y confiable para determinar las características de la leche.

4.5.3 Acidez titulable. La acidez de la leche se refiere a su contenido aparente de ácidos. En cambio, la acidez titulable es un valor que corresponde a la cantidad de hidróxido de sodio necesaria para titular 100 g de muestra, a un pH de 8.3, expresado en gramos de ácido láctico por 100 mL de leche o grados Dormic (NOM-155-SCFI-2012).

La acidez de la leche está compuesta por la acidez aparente, que es determinada por los componentes intrínsecos de la leche y por la acidez titulable, generada

por la fermentación de la lactosa y otros componentes, que originan el ácido láctico. La prueba de acidez titulable es un método colorimétrico que detecta la cantidad de ácidos disueltos en la leche, garantizando que no sobrepase el límite máximo permisible (Carrisoza, 2022).

La prueba consiste en agregar 9 mL de una muestra de leche. Luego, se agregan a la reacción 5 gotas de una solución indicadora de fenolftaleína al 1 % y, finalmente, se titula con una solución de hidróxido de sodio 0.1 N. La reacción se mezcla con movimientos circulares. La titulación se registra cuando el color de la leche se convierte en rosa pálido y persiste por más de un minuto. El rango aceptable de acidez varía entre 1.3 y 1.6 g L⁻¹ de ácido láctico (NOM-155-SCFI-2012; SADER-LICONSA, 2019).

4.5.4 Punto crioscópico. Se determina comparando el punto de congelación de la leche en comparación con el punto de congelación del agua. Utiliza el principio de que, el descenso crioscópico está determinado por la concentración molecular de las sustancias disueltas como los minerales y la lactosa, por lo tanto, al enfriar una solución diluida, se busca alcanzar una temperatura en la que el solvente sólido comienza a separarse (NOM-155-SCFI-2012). De manera práctica, con este parámetro se busca determinar si a la leche se le adicionó agua, ya que cuando esto ocurre, su valor se acerca más al punto de congelación del agua (Carrisoza, 2022). El valor óptimo de punto crioscópico es de 0.530 °C a 0.560 °H (SADER-LICONSA, 2019).

4.5.5 Densidad láctea. Es una característica que depende de la cantidad y tipo de partículas sólidas que contiene la leche, de la temperatura a la que se ha conservado y de la temperatura a la que se está haciendo la determinación (NMX-F-737-COFOCALEC-2016). De todos los sólidos de la leche, la grasa tiene una densidad menor que la del agua. Por lo tanto, si la grasa de la leche aumenta, la densidad disminuye, si los sólidos no grasos aumentan, también lo hará la densidad. La densidad de la leche puede determinarse utilizando un lactómetro, el cual es un hidrómetro especialmente diseñado, adaptado y calibrado para tal fin. Este método se basa en el principio de Arquímedes, utilizando un lactómetro

a una temperatura definida (15 ± 2 °C), la densidad corresponde al peso del lactómetro dividido por el volumen de la leche que ha desplazado cuando esta flota. Dicha relación se mide directamente en la escala del instrumento (NMX-F-737-COFOCALEC-2016; Carrisoza, 2022). La densidad de la leche varía de 1.027 a 1.035 y también se puede medir por medio de aparatos que ocupen como principio la espectroscopía infrarroja y la ultrasonografía (SADER-LICONSA, 2019).

4.5.6 Prueba de reductasa. Es una prueba que trata de determinar la velocidad de reducción del azul de metileno por parte de los microorganismos presentes en la leche. Mediante esta prueba, se puede estimar de manera indirecta la cantidad aproximada de bacterias en la leche (Zambrano y Grass, 2008).

Normalmente, el azul de metileno es un colorante que es azul en su estado oxidado e incoloro en su estado reducido. En presencia de microorganismos, el azul de metileno funciona como sustrato para la acción reductora de los mismos. A medida que se incrementa la cantidad de bacterias en la leche, el color del azul de metileno desaparecerá más rápido y, por lo tanto, será una leche menos higiénica (Remón-Díaz *et al.*, 2019).

La prueba de reductasa se realiza mezclando 10 mL de leche con 0.25 mL de azul de metileno al 0.085 %. La mezcla se incuba a 37 °C durante el tiempo que sea necesario para que el colorante se reduzca. Una leche con calidad higiénica es aquella en la que el tiempo de reducción del azul de metileno es mayor a 120 min (SADER-LICONSA, 2019).

4.5.7 Conteo de células somáticas. El término células somáticas se refiere a las células de defensa o leucocitos presentes en la glándula mamaria que actúan como un mecanismo de protección contra organismos patógenos (Hernández y Bedolla, 2008). Aunque la presencia de células somáticas en la leche se considera normal, su incremento es utilizado como un indicador del estado de salud de la glándula mamaria, ya que indica un proceso inflamatorio

en la misma (Sharma *et al.*, 2011). La importancia de los conteos altos de células somáticas radica en que estos se relacionan con una disminución de los principales componentes sólidos de la leche (grasa, proteína y lactosa) y una menor vida útil de la leche (Forsbäck *et al.*, 2009).

Existen varios métodos para determinar la cantidad de células somáticas en leche, entre los que destacan la prueba de California, la conductividad eléctrica y el conteo de células somáticas. La prueba de California utiliza como fundamento la presencia de mayor cantidad de células durante los procesos inflamatorios en la glándula mamaria. Así, al mezclar un detergente y un colorante con leche proveniente de una glándula mamaria afectada, ocurren cambios en el color y en la consistencia de la mezcla; a mayor cantidad de células somáticas hay una mayor exposición del ADN, por lo que la reacción adquiere un mayor grado de viscosidad (Echeverri *et al.*, 2010). El método de la conductividad eléctrica se basa en el hecho de que en una glándula mamaria afectada hay un mayor contenido de iones de sodio y cloro, por lo que en las muestras con mayor contenido de iones (proveniente de glándulas afectadas), la corriente eléctrica fluirá de manera más fácil (Pérez-Ruano y Tarafa-Zambrana, 2017). Aunque el recuento de células somáticas se puede realizar con microscopía directa, esta técnica pierde practicidad cuando se evalúan muchas muestras. Actualmente, el conteo de células somáticas se lleva a cabo mediante aparatos electrónicos que utilizan como base la microscopia de flujo (Echeverri *et al.*, 2010; Remón-Díaz *et al.*, 2019).

4.6. Producción de leche en México

La producción de leche de bovino es una de las principales ramas del sector pecuario en México. En años recientes, ha representado el 17 % de la producción nacional pecuaria, sólo por detrás de la carne de bovino y de ave (CANILEC, 2021), con un volumen de 12.85 millones de litros (SIAP, 2023). Los principales estados productores de leche son Jalisco, Coahuila, Durango y Chihuahua, los

cuales en conjunto aportan el 53 % de la producción nacional. En contraparte, el consumo nacional estimado de leche para 2022 fue de 16.61 millones de litros (SIAP, 2022). Lo anterior indica que el consumo de leche no alcanza a cubrirse con la producción nacional, ya que esta representa sólo el 79 % de la demanda nacional.

Lo anteriormente expuesto, se debe fundamentalmente a la baja eficiencia de las unidades de producción de leche, debido a que operan en condiciones muy heterogéneas, desde el punto de vista tecnológico y socioeconómico. Sin embargo, se ha señalado que México tiene el potencial productivo para cubrir su demanda de leche incrementando la productividad del ganado asentado en las regiones tropicales del país (Robledo, 2018). Lo anterior, debido a que los trópicos cuentan con abundancia de agua y forrajes naturales durante la mayor parte del año.

4.7. Sistemas de producción de leche

De acuerdo con la tecnificación de las unidades productivas, en México se han identificado cuatro sistemas de producción de leche: especializado, semi especializado, familiar y de doble propósito, los cuales aportan el 50.6 %, 21.3 %, 9.8 % y 18.3 %, respectivamente de la producción nacional (Rebollar *et al.*, 2017). De los anteriores sistemas, se ha señalado que el de doble propósito es el que tiene mayor posibilidad de crecer, ya que tiene el potencial para aportar hasta el 40 % de la demanda nacional de leche (Magaña *et al.*, 2006). A continuación, se describen algunas características de los sistemas mencionados.

4.7.1. Sistema especializado. Se caracteriza por la producción de leche bajo condiciones de alta tecnificación y manejo intensivo. Las unidades de producción bajo este sistema son las responsables de aportar el 50.6 % de la leche producida en México (Rebollar *et al.*, 2017). El sistema especializado se basa en el modelo Holstein, en el cual se mantiene al ganado en estabulación e incorpora innovaciones tecnológicas, dietas balanceadas a base de forrajes de

corte y alimentos concentrados, programas sanitarios eficientes, instalaciones especializadas y procesos mecanizados que incluyen la producción y transformación de la leche en plantas pasteurizadoras y transformadoras, entre otras características. Para lograr altos volúmenes de producción, se ha recurrido a la utilización de ganado especializado en la producción de la leche, como las razas Holstein, Jersey y Pardo Suizo, principalmente. Las unidades de producción cuentan con un promedio de 265 vacas, las cuales producen entre 4,000 y 6,500 litros por vaca al año, en lactancias que duran aproximadamente 10 meses (Del Valle *et al.*, 1996).

En México, la producción de leche bajo este sistema se ha concentrado en regiones específicas que se conocen como cuencas lecheras. Las principales cuencas lecheras se ubican en Durango y Coahuila (Comarca Lagunera), Hidalgo, Querétaro, Jalisco y Chihuahua (García-Vázquez *et al.*, 2005). Las cuencas lecheras se han constituido como las principales abastecedoras de las plantas pasteurizadoras, ya que, debido a su alto grado de tecnificación y manejo intensivo, ofrecen leche de alta calidad. Asimismo, algunos productores de leche han logrado ser parte de las redes de valor de la industria pasteurizadora y de transformación, ya que se han asociado para formar empresas que tienen como objetivo darle valor agregado a su producto (Castro *et al.*, 2001), generando con ello una mayor rentabilidad.

4.7.2. Sistema semi-especializado. Este sistema se caracteriza por unidades de producción que utilizan pequeñas extensiones de terreno, con mediana tecnificación. Aunque los productores manejan cruza con razas especializadas, los animales no alcanzan el nivel productivo que en el sistema especializado (Robledo, 2018). Los animales generalmente pastorean durante el día y son resguardados en la noche en instalaciones acondicionadas. La alimentación se basa en el pastoreo y se complementa con forrajes de corte y alimento concentrado. A veces los productores utilizan esquilmos agrícolas y subproductos agroindustriales para la alimentación (Vilaboa, 2009). El manejo del ganado se realiza mediante la implementación de programas reproductivos y

sanitarios, así como estrategias de administración y de manejo de pastizales (Robledo, 2018).

4.7.3. Sistema familiar. En este sistema, tiene gran importancia en México debido a que contribuye con el 30 % de la producción nacional de leche y posee el 23 % de los vientres (SAGARPA, 2004; García, *et al.*, 2007). Se caracteriza porque está asentado en zonas rurales de la región central del país y el altiplano. La producción se realiza en unidades de producción pequeñas de entre 3 y 30 cabezas, que se encuentran cerca de la vivienda familiar (Posadas-Domínguez *et al.*, 2014). Los animales son considerados como un ahorro para obtener dinero en efectivo en caso de emergencia económica. Este sistema se utiliza como una forma tradicional de producción donde existe poca inversión de recursos en insumos e infraestructura (Madrigal, 2022). Asimismo, se privilegia la mano de obra familiar y aprovecha los esquilmos de cultivos de maíz y caña (SAGARPA, 2013). Predominan las razas que utilizan como base el ganado Pardo Suizo y sus cruza y los animales no tienen una buena calidad genética. El manejo del ganado presenta deficiencias en las cuestiones productivas, reproductivas, sanidad e instalaciones. La alimentación se basa en el pastoreo de terrenos comunales o terrenos en los que yacen esquilmos agrícolas derivados de los cultivos del productor (Loaiza *et al.*, 2018).

El producto obtenido en sistemas familiares es de baja calidad debido a que no existe una buena higiene durante el ordeño. Los productores generalmente comercializan la leche utilizando intermediarios, queseros de la región, centros de acopio o directamente al consumidor (Martínez *et al.*, 2013).

4.7.4. Sistema de doble propósito. Este sistema incluye la crianza de ganado, para producir de manera simultánea leche y carne para vender. Se caracteriza porque las vacas generalmente se ordeñan de manera parcial y la leche restante se deja para que la crianza del becerro (Anderson y Wadsworth, 1995; Vaccaro y López, 1995). Aunque este sistema se puede desarrollar en cualquier región agroecológica del país, es el más representativo de las regiones tropicales de México, las cuales se encuentran a altitudes menores a 1,000

m.s.n.m. y con precipitación pluvial anual que fluctúa entre 800 a 3,500 mm, con una distribución estacional muy marcada.

La alimentación del ganado se basa en los pastos tropicales nativos o inducidos, manejados bajo sistemas de pastoreo rotacional con una carga animal de entre 0.5 a 3.5 unidades animales por hectárea al año, con la necesidad de suplementar con esquilmos agrícolas y subproductos agroindustriales baratos durante la temporada de sequía (Magaña *et al.*, 2006). Las vacas se ordeñan a mano una vez al día, permitiendo que la cría apoye y facilite la bajada de la leche y después se le deja que mame un cuarto completo o leche residual. El destete de la cría generalmente se lleva a cabo a los 8 meses de edad (Osorio-Arce y Segura-Correa, 2010). El tipo de ganado utilizado consiste en razas cebuínas, que se cruzan de manera indiscriminada con las razas Pardo Suizo, Holstein, Jersey y Simmental. Existe una ausencia o implementación deficiente de registros de producción y programas sanitarios y reproductivos, mientras que la asistencia técnica es escasa. Los hatos generalmente son pequeños o medianos de entre 30 y 100 cabezas de ganado (Magaña *et al.*, 2006).

De acuerdo con su manejo, nivel tecnológico y uso del suelo, los sistemas de doble propósito se clasifican como extensivos y algunos como semi-intensivos (Gómez *et al.*, 2002). Independientemente de su clasificación, este sistema está asociado con bajos costos de producción y representan una alternativa para aprovechar los recursos naturales regionales, generar empleos y utilizar la mano de obra familiar. Los índices productivos y reproductivos son bajos. La fertilidad observada en las unidades de producción oscila entre 50 y 60 % (Magaña y Delgado, 1998). Otro indicador del desempeño reproductivo es la edad al primer parto, con un valor promedio de 36 meses de edad (Osorio, 1998) que se debe principalmente a la nutrición deficiente de las vaquillas de reemplazo, ya que su alimentación se basa en el pastoreo y pocas veces se suplementan. La mortalidad observada en las crías oscila entre 9 y 20 %. La producción de leche reportada se refiere a la cantidad comercializable por vaca al día, cuyo es de 3.5 kg el promedio nacional (Magaña *et al.*, 2006) ya que no se considera la cantidad

de leche que es consumida por los becerros. La producción de leche muestra una estacionalidad muy marcada, dependiente de la época del año, debido a la dependencia casi exclusiva de la disponibilidad de pastos. Con base en la producción de leche por lactación (749 a 1,589 kg), los SDP se clasifican como extensivos (Osorio, 1998; Tewolde *et al.*, 2002) y son eficientes en el aprovechamiento de recursos forrajeros de media a pobre calidad. Al considerar el peso al destete y la leche producida por unidad de superficie (ha) al año, los hatos de doble propósito muestran una gran variabilidad, por lo que existe la necesidad de estudiar la interacción de sus componentes con el objetivo de incrementar su producción y rentabilidad (Magaña *et al.*, 2006).

Las zonas tropicales de México son regiones óptimas para el establecimiento del sistema de doble propósito. Este sistema, tiene una ventaja con respecto a los sistemas ubicados en otras regiones agroecológicas del país: la abundancia de agua y suelos para el cultivo de forrajes. Por ello, representa una alternativa para aumentar la producción nacional de leche. Actualmente, los SDP producen aproximadamente el 28 % y 39 % de leche y carne respectivamente, de la producción nacional. Sin embargo, esta región tiene el potencial para incrementar su producción en más del 40 %, lo que repercutiría de manera importante a disminuir los costos de producción e incrementar la rentabilidad (Magaña *et al.*, 2006).

Existen muchos factores que limitan el desarrollo de los sistemas de producción de doble propósito, entre los que destacan los geográficos, biológicos, sociales, económicos y técnicos. Tales factores contribuyen al desconocimiento de los recursos disponibles y a que no se utilicen registros de producción, lo que no permite diseñar programas de mejoramiento productivo para optimizar la rentabilidad de los hatos (Castro *et al.*, 2001) e incrementar la calidad de la leche producida bajo este esquema

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Descripción del área de estudio

El presente estudio incluyó tres localidades del estado de Oaxaca (El Obispo, Tierra Alta y Loma Bonita) y tres de Veracruz (Estación Dobladero, Villa Azueta y Laguna Lagarto) dentro de la región del Papaloapan. El clima de la región es cálido húmedo con lluvias abundantes en verano, con una temperatura promedio anual de 25 °C, precipitación pluvial superior a 1,800 mm anuales, a una altitud de 30-80 m.s.n.m. (García, 2004; Soto *et al.*, 2019).

5.2. Unidades de producción

Las unidades de producción incluidas en el estudio fueron todas aquellas que entregan leche de manera regular en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca. En total Oaxaca, se contabilizaron 30 unidades de producción que entregaban su producto al centro de acopio. La localización de los productores puede observarse en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Localidad, municipio y número de los productores que entregan leche en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca.

Localidad	Municipio	Número de productores
Estación Dobladero	José Azueta, Veracruz	23
Villa Azueta	José Azueta, Veracruz	2
Laguna Lagarto	José Azueta, Veracruz	2
Loma Bonita	Loma Bonita, Oaxaca	1
Tierra Alta	Loma Bonita, Oaxaca	1
El Obispo	Loma Bonita, Oaxaca	1

5.3. Obtención y manejo de las muestras de leche

La obtención de las muestras de leche se llevó a cabo entre agosto y noviembre de 2022. En las unidades de producción de leche caliente, las muestras se recolectaron de los recipientes de almacenamiento, inmediatamente después de la finalización del ordeño. En las unidades de producción de leche fría, las muestras se tomaron antes de vaciar la leche al tanque de enfriamiento. Para la recolección de las muestras, se utilizó una pipeta previamente esterilizada. Se tomaron 100 mL de leche, los cuales fueron depositados en recipientes de plástico estériles identificados con un marcador permanente. Posteriormente, los recipientes se colocaron en una hielera y fueron transportados al Laboratorio de Sanidad Animal y Microbiología, ubicado en la Universidad del Papaloapan, *Campus* Loma Bonita. Inicialmente, a las muestras de leche se les realizó la prueba de alcohol. Después se determinaron los parámetros de calidad fisicoquímica mediante el equipo automatizado Ekomilk® Bond Total (modelo 40S, Bulteh 2000, Bulgaria). Luego, se realizó el conteo de células somáticas utilizando el equipo Ekomilk Scan® (modelo Scan, Bulteh 2000, Bulgaria). Finalmente, se llevó a cabo la determinación indirecta de carga bacteriana mediante las pruebas de reductasa y acidez titulable.

5.4. Fases del proyecto de investigación

El presente estudio estuvo constituido por dos fases:

- 1) Fase 1: determinación de la calidad de la leche entregada en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca.
- 2) Fase 2: identificación de riesgos y PCC durante la producción de leche en comunidades de la Cuenca del Papaloapan.

5.5. Determinación de la calidad de la leche entregada en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca

La determinación de la calidad de la leche se realizó con los 30 productores que entregan leche de manera regular, empleando los siguientes métodos:

5.5.1 Prueba de alcohol. Se realizó al momento de la entrega y consistió en mezclar 2 mL de una muestra de leche con 2 mL de alcohol etílico al 72 % v/v en un tubo de ensayo. Cuando se formaron grumos, la prueba se consideró positiva (NMX-F-700-COFOCALEC-2012).

5.5.2 Características fisicoquímicas. Se determinaron utilizando el equipo automatizado Ekomilk® Bond Total (modelo 40S, Bulteh 2000, Bulgaria). El contenido de grasa, proteína, sólidos no grasos y lactosa se expresó en porcentaje. Para llevar a cabo el análisis de cada muestra, se tomaron 20 mL de leche. Las muestras se analizaron por duplicado para descartar lecturas erróneas, de acuerdo de con lo recomendado por el fabricante. La leche se analizó dentro de las primeras seis horas después de recolectarse.

5.5.3 Conteo de células somáticas. El conteo de células somáticas se utilizó como un indicador del estado de salud de la glándula mamaria. Se llevó a cabo mediante el equipo Ekomilk Scan® (modelo Scan, Bulteh 2000, Bulgaria). Para este análisis, se utilizó la leche dentro de las primeras seis horas después de ser recolectada. Previo al análisis, las muestras de leche fueron calentadas a 20 °C y filtradas, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Para realizar el análisis, se colocaron en el equipo 10 mL de leche y 5 mL del reactivo EkoPrim®. Los resultados se reportaron como número de células somáticas por mL. Se consideró que la muestra procede de una glándula con mastitis subclínica cuando se presentaron conteos superiores a 200,000 células mL⁻¹.

5.5.4 Prueba de reductasa. Para realizar la prueba, se tomó una muestra de 10 mL de leche previamente agitada, se colocó en un tubo de ensayo estéril con tapón y se agregó 1 mL de solución acuosa de azul de metileno al 0.085 %. El tubo se cerró y el contenido se invirtió dos veces para mezclar la leche con el colorante. Se incubó a 37 °C evitando la exposición de los tubos a

la luz. Se registró la hora de inicio de la incubación. Cada 15 min se revisaron los tubos y se registró el tiempo en el que ocurrió la decoloración. La interpretación de resultados y la clasificación de calidad de la leche se realizó de acuerdo con el Cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación de la leche de acuerdo con el tiempo que tardan los microorganismos en reducir el azul de metileno.

Clase de leche	Tiempo de reducción de azul de metileno	Contenido microbiano UFC mL⁻¹
Buena calidad	5 h (300 min)	10,000 a 200,000
Buena a regular calidad	2-4 h (120 a 240 min)	200,000 a 2,000,000
Mala calidad	Menor a 2 h (120 min)	2,000,000 a 10,000,000

Fuente: LICONSA (2007).

5.5.5. Prueba de acidez titulable. Con una pipeta volumétrica se tomaron 9 mL de leche y se colocaron en un vaso de precipitado. Se adicionaron 5 gotas de una solución indicadora de fenolftaleína al 1 %. La titulación se realizó al adicionar a la reacción una solución de hidróxido de sodio 0.1 N que se mezcló con movimientos circulares, hasta percibir el cambio de la mezcla a un color rosa pálido, el cual fue persistente por más de un minuto (SADER-LICONSA, 2019). En ese momento, se registraron los mL consumidos de la solución de hidróxido de sodio. Los resultados de acidez se expresaron en gramos de ácido láctico por litro de leche.

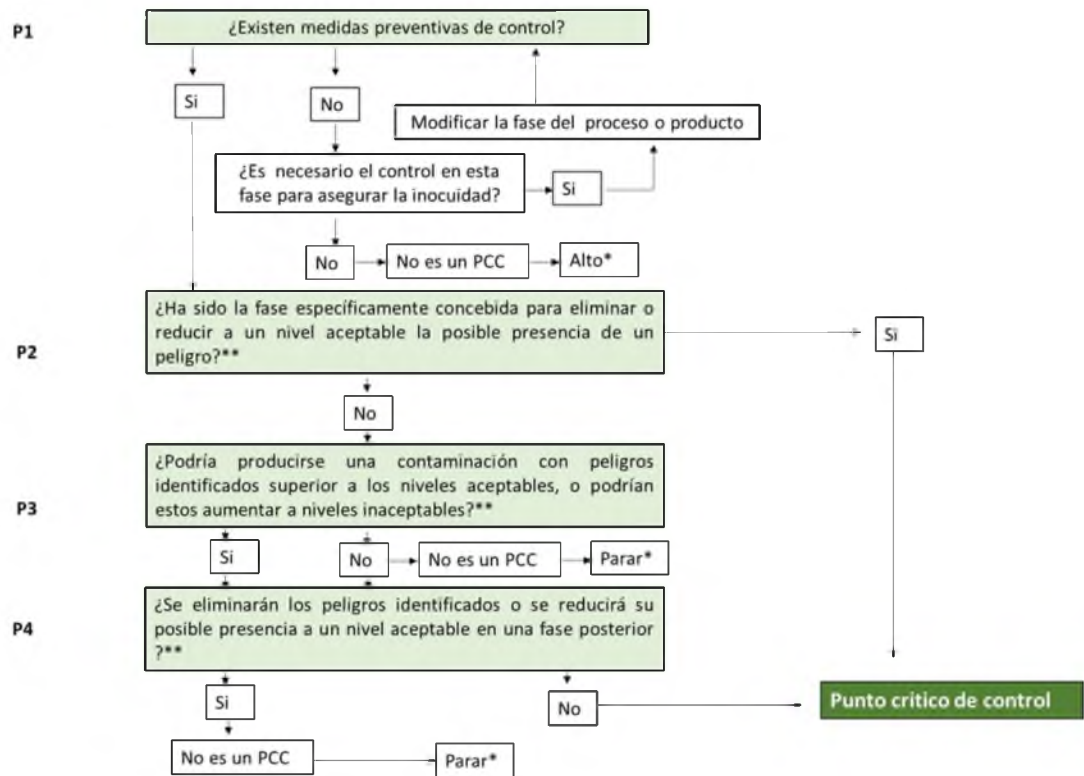
5.6. Identificación de riesgos y PCC durante la producción de leche en seis comunidades de la Cuenca del Papaloapan

Para la ejecución de esta fase, a los 30 productores se les aplicó una encuesta semiestructurada para identificar los factores de manejo. La información obtenida se corroboró mediante la inspección visual del proceso de ordeño y manejo de la leche en cada una de las unidades productivas.

5.6.1. Identificación de factores de manejo desde el ordeño hasta la entrega en el centro de acopio relacionados con la calidad de la leche. La identificación de los factores de manejo de las unidades de producción relacionados con la calidad de la leche se logró mediante la aplicación de una encuesta. En la encuesta, se recolectó información sobre las características del productor y de la unidad de producción, manejo durante el ordeño (actividades realizadas, características y manejo de la higiene del local donde se lleva a cabo y de los recipientes que se utilizan), actividades de control de la mastitis bovina y manejo de la leche después de su extracción (Anexo I). La información recolectada se corroboró por inspección visual.

5.6.2. Identificación de los riesgos en el proceso de obtención-entrega de la leche al centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca, en unidades de producción de la Cuenca del Papaloapan. Para realizar esta actividad, se consideró la información recolectada en la encuesta, así como la inspección visual. Inicialmente, se llevó a cabo un diagrama de flujo detallado con las etapas de manejo de la leche en las unidades de producción, desde su extracción hasta su entrega al centro de acopio. Una vez identificadas las etapas de manejo, se llevó a cabo la implementación parcial del sistema HACCP. Aunque este sistema consta de siete principios, en el presente trabajo únicamente se aplicaron los dos primeros, los cuales consisten en la identificación de riesgos y la determinación de los puntos críticos de control de cada una de las etapas identificadas.

5.6.3. Establecimiento de los PCC del manejo de la leche desde su obtención hasta la entrega en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca, en unidades de producción de la Cuenca del Papaloapan. Para establecer los PCC, se llevó a cabo un análisis detallado de las etapas detectadas previamente en el diagrama de flujo, para determinar si la aplicación de un control en dichas etapas era suficiente para eliminar un riesgo o reducirlo a un nivel aceptable. Para ello, se utilizó como herramienta un árbol de decisiones (Figura 1).



*Pasarse al siguiente peligro identificado del proceso descrito

**Los niveles aceptables o inaceptables necesitan ser definidos teniendo en cuenta los objetivos globales cuando se identifican los PCC del plan de APPCC.

Figura 1. Árbol de decisiones para establecer la existencia de PCC, de acuerdo con la metodología descrita por la FAO (2002).

5.7. Análisis estadístico

La información recopilada en las encuestas se procesó mediante estadística descriptiva, mediante el cálculo de promedio, desviación estándar, rango o porcentaje. La determinación de los puntos críticos de control se realizó mediante la aplicación de un árbol de decisiones.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Calidad de la leche entregada en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca

A la llegada al centro de acopio, la primera prueba que se realizó a la leche fue la prueba de alcohol. Esta prueba permite conocer la estabilidad térmica de la leche en los procesos térmicos de la leche. El alto grado de acidez de la leche ocasionado principalmente por una alta carga bacteriana provocará una desestabilización coloidal de las micelas de caseína, dando como resultado que, al aumentar la temperatura, se produzca su coagulación (Rodríguez-Magadán *et al.*, 2019). Por tal motivo, se considera a la prueba de alcohol como una prueba exploratoria de la calidad de la leche.

Toda la leche entregada al centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca, resultó negativa a la prueba de alcohol. Lo anterior indicó que la leche puede ser sometida a procedimientos térmicos industriales sin que sufra coagulación.

La calidad de la leche es muy importante porque determina su rendimiento en los procesos industriales, así como sus usos en la alimentación humana, garantizando, además su inocuidad. En el Cuadro 3, se observan algunas características de la leche entregada por productores al centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca.

En el presente estudio, el contenido promedio de grasa en leche de las unidades de producción muestreadas fue de 3.9 %, con un rango de 1.7 % a 9.1 %. Estos resultados son similares a lo reportado por Calderón *et al.* (2007), quienes realizaron un estudio en unidades de producción de doble propósito en Montería, Colombia, en el que se muestrearon durante dos meses 28 ranchos proveedores de cuatro procesadoras de queso, registrando un valor mínimo y máximo de grasa en leche de 2.1 % y 7 %, respectivamente.

Cuadro 3. Composición de la leche, conteo de células somáticas y tiempo de reductasa en la leche entregada por diferentes unidades de producción al centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca.

Productor	Grasa (%)	Proteína (%)	Lactosa (%)	SNG (%)	CS (cel mL ⁻¹)	Reductasa (min)
Productor 1 ^a	3.5	3.1	4.6	8.4	716,000	180
Productor 2 ^a	5.2	3.3	4.8	8.8	125,000	240
Productor 3 ^a	4.1	3.5	5.1	9.2	156,000	180
Productor 4 ^a	3.4	3.1	4.6	8.4	219,000	240
Productor 5 ^a	3.2	3.0	4.4	8.1	279,000	180
Productor 6 ^a	4.0	3.2	4.6	8.5	550,000	180
Productor 7 ^a	3.4	3.3	4.8	8.8	184,000	180
Productor 8 ^a	6.1	3.3	4.6	8.7	425,000	240
Productor 9 ^a	3.2	3.2	4.7	8.7	111,000	160
Productor 10 ^a	4.9	3.1	4.5	8.3	400,000	240
Productor 11 ^a	2.7	3.3	4.9	8.9	90,000	180
Productor 12 ^a	3.9	3.1	4.6	8.4	1,500,000	150
Productor 13 ^a	3.4	3.2	4.7	8.5	394,000	300
Productor 14 ^a	2.8	3.3	4.9	8.9	428,000	300
Productor 15 ^a	4.2	3.3	4.8	8.9	258,000	180
Productor 16 ^a	3.7	3.2	4.7	8.7	223,000	160
Productor 17 ^a	4.2	3.2	4.6	8.4	254,000	200
Productor 18 ^a	1.7	2.3	3.3	6.1	950,000	180
Productor 19 ^a	3.7	3.2	4.7	8.6	146,000	180
Productor 20 ^a	3.6	3.3	4.8	8.8	275,000	240
Productor 21 ^a	9.1	3.4	5.0	9.1	958,000	180
Productor 22 ^a	3.5	3.2	4.6	8.5	90,000	240
Productor 23 ^a	3.6	3.2	4.6	8.4	202,000	300
Productor 24 ^b	4.4	3.2	4.6	8.5	90,000	300
Productor 25 ^b	3.5	3.2	4.6	8.4	391,000	240
Productor 26 ^c	3.1	3.2	4.7	8.7	90,000	240
Productor 27 ^c	3.1	3.2	4.7	8.5	90,000	240
Productor 28 ^d	3.3	3.6	4.8	8.8	97,000	180
Productor 29 ^e	4.2	3.1	4.6	8.3	237,000	180
Productor 30 ^f	3.7	3.2	4.6	8.5	1,466,000	140
Promedio	3.9±1.3	3.2±0.2	4.7±0.3	8.5±0.5	379,800±379,456	211±47.3

SNG= sólidos no grasos; CS= células somáticas.

^a Dobladero

^b Villa Azueta

^c Laguna Lagarto

^d Loma Bonita

^e Tierra alta

^f El Obispo

Se ha determinado que la grasa es el componente más variable de la leche de vaca y que constituye entre el 3 y 4% de la misma (Hanuš *et al.*, 2018; FAO, 2023b). La gran variabilidad en el contenido de grasa observado en las unidades

de producción incluidas en este trabajo puede atribuirse principalmente a diferencias en el genotipo de los animales y el manejo nutricional que los productores realizan.

Diversos autores han señalado que en el sistema de doble propósito existe una alta heterogeneidad entre las unidades de producción (Magaña *et al.*, 2006; Leos-Rodríguez *et al.*, 2008). En cambio, en la lechería especializada se utilizan animales de la misma raza que son alimentados con dietas controladas. Bajo estas condiciones, el contenido de grasa en leche es más constante. Lo anterior se evidencia en una investigación retrospectiva realizada en Brasil por Bondan *et al.* (2018), quienes durante cinco años realizaron un estudio en el que se incluyeron los datos de 148,604 vacas Holstein pertenecientes a 115 establos lecheros, observando un rango de contenido de grasa en leche de 3.37 % a 3.52 %. Con base en lo anterior, se puede concluir que la alta variación en el contenido de grasa en leche entre las unidades de producción es un resultado que se esperaba debido a la gran cantidad de variación que existe entre las mismas.

De las 30 unidades de producción muestreadas, 28 mostraron un contenido de grasa en leche, mientras que dos mostraron valores extremos. Así, la leche entregada por el Productor 18 tuvo un contenido de grasa de 1.7 % que se puede considerar extremadamente bajo. Se han señalado varios factores que pueden reducir el contenido de grasa en leche como la deficiencia de forraje en la dieta, un tamaño reducido de partícula de forraje, el nivel de producción de las vacas, la etapa de la curva de lactancia, la desnutrición y la presencia de mastitis (Bruckmaier *et al.*, 2004). De los factores mencionados, los primeros cuatro no permiten explicar la reducción del contenido de grasa en la leche entregada por el productor, debido a que la alimentación del ganado se basa en el pastoreo, las vacas tienen una producción de leche relativamente baja y se encontraban en diferentes etapas de la lactancia. Sin embargo, la baja calidad de los forrajes utilizados para alimentar al ganado y el conteo de células somáticas si pudieron influir en el contenido de grasa en leche. Al respecto, se ha mencionado que los

pastos tropicales disminuyen la productividad del ganado debido a que tienen bajo contenido de proteína y energía, así como una digestibilidad reducida (Esparza-Jiménez *et al.*, 2021). Por otra parte, la leche entregada por el productor 18, además de presentar una reducción del contenido de grasa, también mostró una reducción de proteína, lactosa y SNG y conteos altos de células somáticas (Cuadro 3). Lo anterior indica que probablemente en la unidad de producción había varias vacas con mastitis subclínica. Se ha determinado que la presencia de mastitis se asocia a la presencia de bacterias patógenas que provocan una reducción de la secreción de leche, así como de sus componentes (Bruckmaier *et al.*, 2004), repercutiendo de manera negativa en su rendimiento industrial.

El contenido de grasa extremadamente elevado observado en la leche entregada por el Productor 21 (9.1 %; Cuadro 3) es difícil de explicar, desde un punto de vista fisiológico. Previamente se ha mencionado que la grasa en leche depende fundamentalmente del genotipo de los animales ordeñados y del manejo nutricional que realiza el productor. Sin embargo, los animales que predominan en el hato son similares a los de las otras unidades de producción. Asimismo, la alimentación del ganado se basa en el pastoreo de praderas con pasto Insurgente. En un estudio realizado en Cuba en el que las vacas se alimentaron con pastos tropicales, se observó un contenido de grasa en leche de 3.79 % (Reyes *et al.*, 2021). Lo anterior indica que, bajo condiciones de pastoreo en zonas tropicales, es prácticamente imposible alcanzar el contenido de grasa en leche antes mencionado. Una posibilidad es que el productor haya adulterado la leche con grasa no láctea, debido a que, en su historial de entrega de leche al centro de acopio, se han detectado varias irregularidades [Aguilar, 2022]¹. Sin embargo, lo anterior no se pudo comprobar debido a la naturaleza exploratoria de la fase 1 en la cual sólo se analizó una muestra en cada una de las unidades de producción.

El contenido de proteína en leche de las unidades de producción muestreadas fue en promedio de 3.2 %, con un mínimo y máximo de 2.3 % a 3.6 %. El

¹ [Nayeli Aguilar, comunicación personal, Centro de Acopio LICONSA de Loma Bonita, Oaxaca, 2022]

contenido de lactosa mostró un valor promedio de 4.7 %, dentro de un mínimo y máximo de entre 3.3 % y 5.1 %. Asimismo, el contenido de SNG tuvo un valor promedio de 8.5 %, con un rango de 6.1 % a 9.2 % (Cuadro 3). Estos resultados fueron superiores a lo reportado por Razz y Clavero (2007) en Venezuela, quienes muestrearon 24 vacas lactantes de doble propósito mantenidas en pastoreo y observaron intervalos de 2.98 % a 3.11 %, de 4.53 % a 4.65 % y 8.16 % a 8.39 % para contenido de proteína, lactosa y SNG en leche, respectivamente. Asimismo, Torres-Neira *et al.* (2020) realizaron un estudio en un centro de acopio de Colombia en el que analizaron 42 muestras de leche cruda provenientes de 14 tanques de enfriamiento y observaron rangos de 2.6 % a 3.01 %, 4.23 % a 4.95 % y 7.25 % a 8.21 % para proteína, lactosa y SNG respectivamente. Las causas de las diferencias entre los resultados del presente estudio y los de los trabajos citados son difíciles de determinar ya que los autores no mencionan las razas utilizadas y el nivel productivo de los animales. Aunque los animales de los estudios citados fueron suplementados con concentrado comercial y pastoreo en bancos de leguminosas, los valores de proteína, lactosa y SNG fueron inferiores a los encontrados en este estudio. Debido a que en esos trabajos no se reportan algunas variables explicativas, es imposible hacer una comparación con las unidades de producción incluidas en el presente trabajo. Así, se sabe que la leche de animales con bajo nivel productivo presenta una mayor cantidad de sólidos totales que aquellos que registran niveles elevados de producción, esto explicado como un efecto de dilución (Briñez *et al.*, 2008).

Todos los valores de contenido en leche de proteína, lactosa y SNG se observaron normales, a excepción del Productor 18, cuya leche entregada tuvo valores para los parámetros mencionados de 2.3 %, 3.3 % y 6.1 %, respectivamente. Se puede especular que el bajo contenido de sólidos no puede deberse a la adulteración por adición de agua o podría estar relacionado con la presencia de mastitis subclínica, lo cual se sustenta con el conteo elevado de células somáticas. Al respecto, es necesario resaltar que, la mastitis afecta de manera negativa las características nutricionales de la leche (Harjanti y Sambodjo, 2020).

En este sentido, el contenido de células somáticas de la leche entregada al centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca se observa en el Cuadro 3. El conteo promedio fue de 379,800 CS mL⁻¹, con un valor mínimo y máximo de 90,000 CS mL⁻¹ y 1,500,000 CS mL⁻¹, respectivamente. De acuerdo con Reyes (2008), a nivel individual se considera que una glándula mamaria está sana cuando la leche tiene menos de 100,000 CS mL⁻¹. Si el contenido de células somáticas es de 100,000 a 200,000 CS mL⁻¹, la glándula mamaria es considerada sospechosa y si el contenido es superior a 200,000 CS mL⁻¹, es indicativo que alguno de los cuartos sufre mastitis subclínica. Por otra parte, cuando la evaluación de la leche se realiza a nivel de hato, la muestra de leche es obtenida del tanque de enfriamiento. En ese caso, la leche con conteos superiores a 300,000 CS mL⁻¹ indica que una alta proporción de animales presenta mastitis subclínica (Moroni *et al.*, 2018). Los conteos de células somáticas superiores a 500,000 CS mL⁻¹ se relacionan con una mayor actividad proteolítica y una menor concentración de grasa y caseína (Skeie, 2010), lo que da como resultado un menor rendimiento de la leche en la producción de queso. Aún no existe un consenso internacional con respecto al conteo de células somáticas que debe presentar la leche bovina para consumo humano. La unión Europea estableció que la leche con conteos superiores a 400,000 CS mL⁻¹ no es apta para consumo humano (UE, Reglamento N° 853/2004), mientras que México y Estados Unidos permiten conteos de hasta 750,000 CS mL⁻¹ (Kelly *et al.*, 2016; SADER-LICONSA, 2019).

Una posibilidad de analizar el contenido de células somáticas en la leche entregada al centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca, es utilizando el criterio anteriormente expuesto para evaluar a nivel de hato (Cuadro 4).

Cuadro 4. Porcentaje de muestras de leche entregada por diferentes unidades de producción al centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca, agrupadas con base en categorías establecidas por Moroni *et al.* (2018) y Skeie (2010).

Categoría	Rango de CS (CS mL⁻¹)	Porcentaje de muestras
Normal	0-200,000	36.7
Mastitis subclínica	>200,000-500,000	43.3
Degradación de componentes	>500,000	20

Al revisar el cuadro, se observa que el 36.7 % de las muestras de leche se agruparon en la categoría normal, que incluye a unidades de producción con conteos menores a 200,000 CS mL⁻¹, indicativo de una baja prevalencia de mastitis subclínica. El 43.3 % de las muestras de leche tuvo conteos mayores a 200,000 CS mL⁻¹ y menores a 500,000 CS mL⁻¹, que sugieren la presencia de una alta proporción de animales con mastitis subclínica. Finalmente, el 20 % de las muestras de leche presentaron conteos superiores a las 500,000 CS mL⁻¹, lo que implica que esta leche tiene mayor probabilidad de sufrir algún tipo de degradación en sus componentes.

Cuando se considera como criterio el límite que establece LICONSA (2019) para aceptar la leche sin ningún tipo de castigo económico (750,000 CS mL⁻¹), el 86 % de los productores cumplió, mientras que el 13.3 % restante no. Lo anterior es especialmente grave, si se considera que las muestras globales de cada unidad productiva contienen leche de animales sanos y enfermos y que los conteos altos indican una alta proporción de animales con problemas de mastitis.

La calidad microbiológica de la leche entregada en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca se estimó de manera indirecta a través de la prueba de reductasa, la cual consiste en medir el tiempo de reducción del azul de metileno y los resultados se pueden consultar en el Cuadro 3. El tiempo promedio de reducción del azul de metileno fue de 211 min, con un intervalo de 140 a 300 min. Un mayor tiempo en la reducción del azul de metileno indica la presencia de menor cantidad de bacterias y viceversa (Vanegas, 2011).

Con base en la prueba de reducción del azul de metileno, la leche se puede clasificar en tres categorías: leche de buena calidad, leche de buena a regular calidad y leche de mala calidad (LICONSA, 2019). En el Cuadro 5 se observa el tiempo de reducción del azul de metileno asociado con cada categoría, el contenido de unidades formadoras de colonias estimado y el porcentaje de productores que entregó leche al centro de acopio en cada una de las categorías.

Cuadro 5. Clasificación de la leche de acuerdo con el tiempo de reducción de azul de metileno en unidades de producción que entregan leche en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca.

Clasificación de la leche	Tiempo de reducción de azul de metileno (min)	Contenido microbiano UFC mL ⁻¹	Porcentaje de muestras
Buena calidad	5 horas (300)	10,000-200,000	13.3
Buena a regular calidad	2 a 4 horas (120 a 240)	200,000 a 2 millones	86.6
Mala calidad	Menor a 120	2 a 10 millones	0

UFC= Unidades Formadoras de Colonias.

De acuerdo con el Cuadro 5, la mayor parte de los productores entrega leche de calidad buena a regular (86.6 %), mientras que el 13.3 % restante, entregó leche de buena calidad, en la que el tiempo de reducción del azul de metileno fue mayor a cinco horas y se tuvo un contenido de unidades formadoras de colonias relativamente bajo. Con base en este criterio, ninguno de los productores entregó leche de mala calidad, ya que el límite de tiempo mínimo fijado por el centro de acopio para la reducción del azul de metileno es de 120 min y la muestra de leche con menor tiempo de reducción registró 140 min.

Finalmente, las muestras de leche se agruparon por localidades para realizar un análisis descriptivo y presentar los promedios de cada variable (Cuadro 6).

Cuadro 6. Número de productores y características fisicoquímicas de la leche, cantidad de células somáticas y tiempo de reductasa en unidades de producción agrupadas por localidad.

Localidad	n	Grasa (%)	Proteína (%)	Lactosa (%)	SNG (%)	Células somáticas (CS mL ⁻¹)	Reductasa (min)
E. Dobladero	23	3.9	3.2	4.7	8.5	396,864	205
Villa Azueta	2	3.8	3.2	4.6	8.4	227,666	280
Laguna Lagarto	2	3.1	3.2	4.7	8.6	90,000	240
Loma Bonita	1	3.6	3.3	4.2	7.8	97,000	180
Tierra Alta	1	4.2	3.1	4.6	8.3	237,000	180
El Obispo	1	3.7	3.2	4.6	8.5	1,466,000	140
Promedio		3.7	3.2	4.6	8.4	419,000	204

Cuando la leche se agrupa por localidades, los promedios de los parámetros de composición de la leche se muestran normales, así como el conteo de células somáticas y el tiempo de reducción del azul de metileno. No se realizó la comparación entre localidades debido a que algunas aportaron solo una unidad de producción y otras hasta 23. El hecho de agrupar la leche entregada por localidades es particularmente importante, si se considera que estas comparten características climáticas, de terreno y, sobre todo, de prácticas de manejo. Estas últimas muchas veces son compartidas o replicadas entre los productores (Martínez *et al.*, 2011).

La prueba de acidez titulable es otra de las pruebas realizadas a la leche en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca. La acidez titulable se expresa en gramos de ácido láctico contenidos en un litro de leche. Los valores aceptables de esta prueba van de 1.3 a 1.6 g L⁻¹ de ácido láctico (NOM-155-SCFI-2012; SADER-LICONSA, 2019). En la Figura 2 pueden observarse los resultados de acidez titulable en la leche entregada en el centro de acopio.

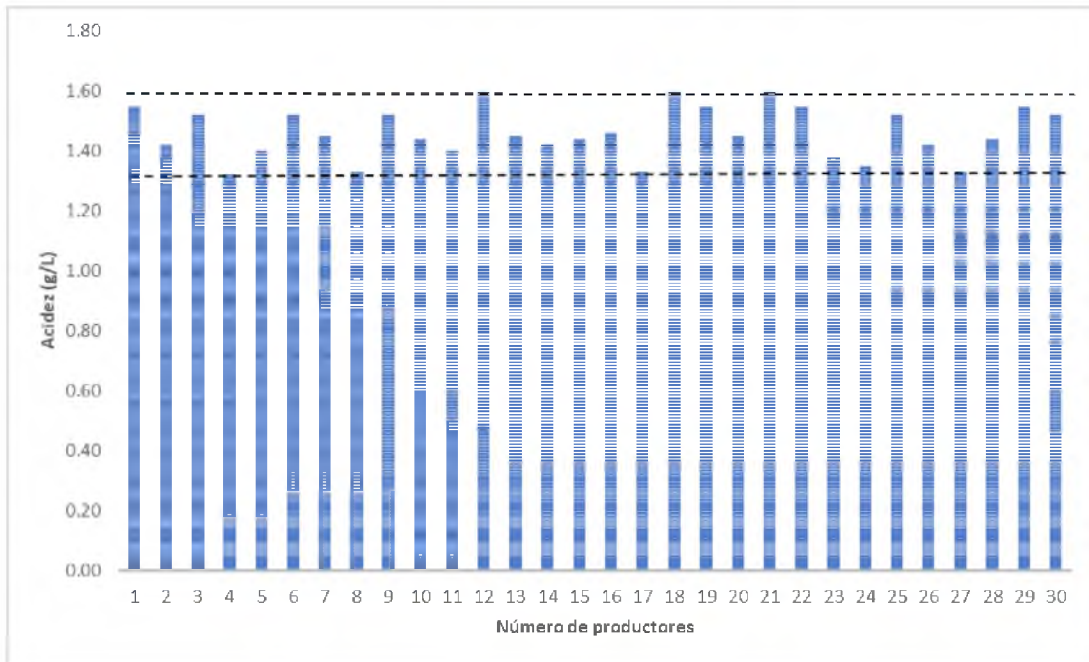


Figura 2. Valores de la acidez titulable de las unidades de producción que entregan leche al centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca.

Los valores de acidez titulable de las leches entregadas en el centro de acopio de Loma Bonita variaron de 1.3. a 1.6 g L⁻¹ de ácido láctico. A pesar de que la totalidad de unidades de producción entregó leche con valores dentro del rango aceptado por el centro de acopio, se pudieron observar tres muestras cercanas al límite permisible (1.6 g L⁻¹ de ácido láctico).

6.2. Identificación de riesgos y PCC durante la producción de leche en comunidades de la Cuenca del Papaloapan

La inocuidad es una propiedad de los alimentos que indica que no causan daño a la salud humana por efecto de contaminantes físicos, químicos y biológicos (SENASICA, 2019). Para lograr que los alimentos de origen animal sean inocuos, se requiere que los productores implementen durante la cadena productiva varias medidas para reducir los riesgos de contaminación. Algunas de las herramientas más utilizadas para garantizar la obtención de productos de calidad e inocuos

son la aplicación de las buenas prácticas de producción y el sistema HACCP. En el caso de las buenas prácticas de producción, se han utilizado para incrementar la calidad de los productos de origen animal. El HACCP, en cambio, es un sistema utilizado para garantizar la inocuidad de los alimentos, incluida la leche. Por todos los prerrequisitos que se necesitan y por el nivel de heterogeneidad de las unidades de producción, es complicado aplicar los siete principios del HACCP a nivel de una unidad productora de leche (Cerf *et al.*, 2011; SE, 2012). Sin embargo, su aplicación parcial podría ayudar a identificar y determinar de una manera sistemática los riesgos y puntos críticos de control a nivel de la producción primaria. Con base en lo anterior y para llevar a cabo la identificación de factores de manejo, identificación de riesgos y la determinación de los PCC, se utilizó la información obtenida a partir de la aplicación de una encuesta semiestructurada a los 30 productores incluidos en esta fase, así como la observación visual de sus respectivas unidades de producción.

6.2.1. Identificación de factores de manejo que afectan la calidad de la leche. Con base en las encuestas aplicadas y visitas realizadas en cada una de las unidades de producción, se elaboró un diagrama de flujo detallado que incluyó las etapas del manejo de la leche (Figura 3).

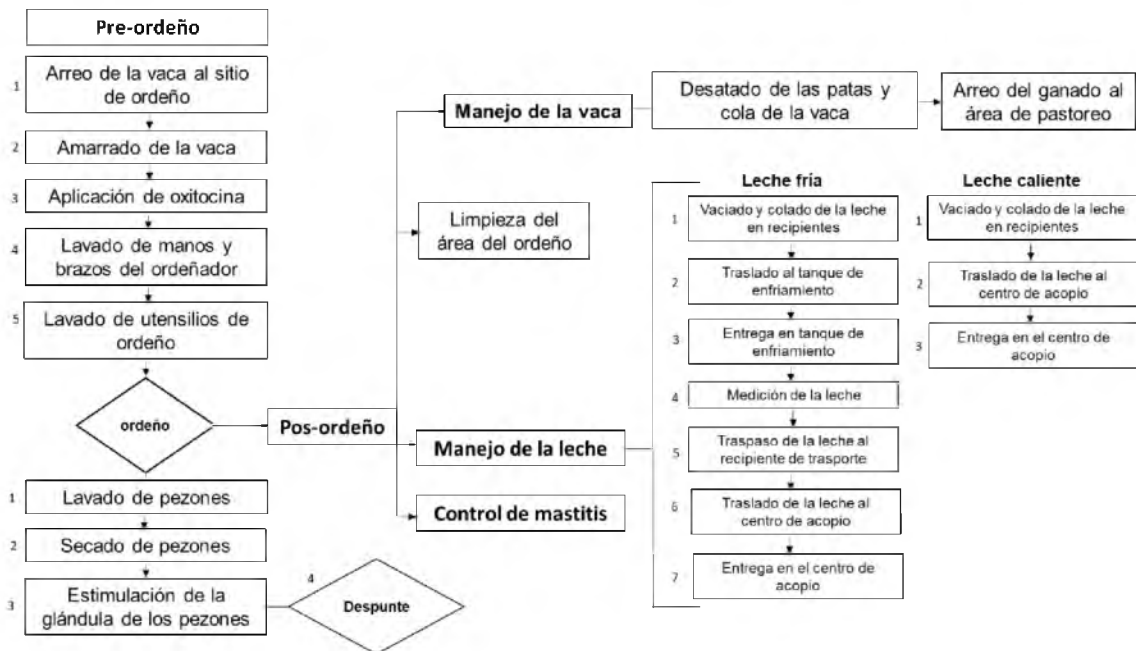


Figura 3. Diagrama de etapas del flujo operacional de obtención y manejo de leche, en unidades de producción que entregan leche al centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca.

Se identificaron tres etapas de manejo en las que existieron factores que potencialmente pueden afectar la calidad de la leche: pre-ordeño, ordeño y pos-ordeño. Además, se determinó la existencia de dos sistemas de entrega: sistema de leche fría y sistema de leche caliente.

6.2.1.1. Etapa de pre-ordeño. Esta etapa abarcó desde arreo de las vacas al sitio donde se realizó el ordeño hasta el lavado de utensilios que se utilizaron en el mismo. Estuvo constituida por varias actividades que se relacionan en menor o mayor grado con la calidad de la leche, tales como arreo del ganado hasta el sitio de ordeño, amarrado de la vaca, aplicación de oxitocina, lavado de manos y brazos del ordeñador y lavado de utensilios de ordeño.

El arreo del ganado consistió en llevar el ganado desde los potreros hasta el sitio donde se realizó el ordeño. Los productores que mantienen al ganado cerca del área de ordeño lo arrean a pie, emitiendo vocalizaciones y moviendo los brazos

para animar a los animales a caminar. Los productores que mantienen al ganado lejos del área de ordeño utilizan caballos para facilitar esta actividad.

El arreo del ganado puede influir de manera indirecta en la calidad de la leche. Se ha observado que los animales arreados con ayuda del caballo muestran una mayor distancia de huida, lo que se atribuye a mayor estrés durante esta actividad (Garcez-Mercado *et al.*, 2013). Así mismo, se ha mencionado que el estrés interfiere con el mecanismo de bajada de la leche, debido a que la adrenalina secretada inhibe la liberación de oxitocina (Odeón y Romera, 2017). Sin embargo, en las unidades de producción incluidas en el estudio la presencia de leche residual no se considera importante, debido a que es utilizada para la alimentación de las crías. La extracción de la leche residual por parte de las crías evita que ésta sea utilizada como sustrato por bacterias que logran ingresar a la glándula mamaria y que pueden causar infecciones o cambios en las propiedades fisicoquímicas de la leche.

El amarrado de la vaca consistió en inmovilizar con una cuerda los miembros posteriores y la cola de la vaca. Con ello, se evitó que la vaca se moviera, dando seguridad al ordeñador y evitando que la vaca pudiera tirar la cubeta en la que se acumula la leche durante el ordeño. Además, la sujeción de la cola evitó que las vacas contaminaran la leche extraída. Lo anterior forma parte de las actividades previas al ordeño recomendadas por la FAO (2011).

La aplicación de oxitocina tuvo la finalidad de estimular la bajada de la leche en las vacas ordeñadas. En el Cuadro 7 se observa que el 47.4 % de los productores de leche fría aplican oxitocina, mientras que, en el caso de los productores de leche caliente, el 100 % la aplica. Los productores que no aplican oxitocina utilizan al becerro para estimular la bajada de la leche. Sin embargo, el becerro puede obstaculizar la ordeña, o bien, puede contaminar con saliva la leche. Por ello, otros productores prefieren realizar la administración intramuscular de cinco mL de oxitocina entre cinco y 15 min antes de comenzar el ordeño para facilitar la expulsión de la leche.

Cuadro 7. Factores de manejo aplicados durante la etapa de pre-ordeño en las unidades de producción incluidas en el estudio.

Característica*	Leche fría	Leche caliente
4. Aplicación de oxitocina (%)	47.4	100
5. Lavado de manos y brazos del ordeñador (%)	41.2	100
6. Manejo de los utensilios de ordeño		
Tipo de recipiente		
Perola de plástico	42.1	50
Perola de aluminio	31.6	50
Cubeta de plástico	15.8	—
Tambo de plástico	5.3	—
Garrafa de plástico	5.3	—
Intervalo de limpieza (días)	1±0	1±0
Sustancias utilizadas en la limpieza (%)		
Jabón	100	100
Cloro	36.9	0
Yodo	0	50
Enjuague de recipientes lavados (%)	100	100
Secado de recipientes lavados (%)	52.6	0
Tiempo de limpieza de recipientes (min)	8.3±3.9	12.5±3.5

*Enumerada de acuerdo con el diagrama de flujo operacional de obtención y manejo de la leche.

La aplicación de oxitocina se relaciona con la calidad de la leche. Por un lado, se ha observado que cuando se aplica oxitocina, se puede extraer mayor cantidad de leche por vaca, aunque esta presenta menor cantidad de componentes sólidos (Juárez-Barrientos *et al.*, 2016). Por otro lado, la utilización de oxitocina permite realizar el ordeño a fondo, lo que reduce la cantidad de leche residual e incrementa la transferencia de inmunoglobulinas a la glándula mamaria, siendo útil en la terapia de las vacas con mastitis clínica (Wall *et al.*, 2016).

Se debe remarcar que, aunque aproximadamente la mitad de los productores aplicaron oxitocina, no todos lo hicieron de la manera correcta. Algunos productores tardaron hasta 15 min después de la aplicación de oxitocina para iniciar el ordeño. Al respecto, se ha determinado que una vez aplicada, el efecto de la oxitocina tarda cinco min (Kruze, 1998). Lo anterior implica que el efecto de la oxitocina termina antes de que el productor comience con la extracción de leche, aumentando el riesgo de presentación de infecciones en la glándula mamaria como consecuencia de un ordeño incompleto.

El lavado de manos y brazos por parte del ordeñador es una de las principales actividades que se relaciona con la calidad microbiológica y sanitaria de la leche. La actividad consistió en que los productores utilizaron agua y jabón para lavarse las manos y brazos antes de comenzar a ordeñar cada una de las vacas. El 41.2 % y 100 % de los productores que entregan leche fría y leche caliente, se lavaron las manos, respectivamente efectuaron esta actividad (Cuadro 7). A pesar de que casi la mitad de los productores incluidos en este estudio se lavaron las manos y brazos, una alta proporción no lo hizo de manera correcta, ya que no se secaron las manos antes de manipular los pezones. Lo anterior coincide con lo observado en un estudio realizado en India, en el cual los autores observaron que los ordeñadores no se preocupaban por secar sus manos antes de realizar el ordeño (Singh y Ramachandran, 2020). Esto representa un mayor riesgo de contaminar con bacterias tanto los pezones de la vaca ordeñada como la leche extraída de ella.

El lavado de los utensilios de ordeño consistió en la limpieza de todos los implementos utilizados en el proceso de ordeño. Las actividades relacionadas con la limpieza de los utensilios utilizados durante el proceso de ordeño pueden observarse en el Cuadro 7. La mayor parte de los productores utilizaron utensilios de plástico para contener y transportar la leche (68.5 % y 50 % de los productores de leche fría y leche caliente, respectivamente).

En este sentido, se recomienda que los utensilios sean de materiales que resistan la corrosión y que toleren los procesos de limpieza y desinfección continuos. Los materiales de los recipientes ordenados de acuerdo con su calidad higiénica son el acero inoxidable, el aluminio y el plástico (Martínez *et al.*, 2011). A pesar de que los productores llevaron a cabo la limpieza de los recipientes previo al ordeño, se observó que algunos productores utilizaban recipientes de plástico muy desgastados con presencia de rayaduras que no permitían llevar a cabo la limpieza de manera adecuada; otros productores utilizaron recipientes de metal oxidados en los cuales la leche se degradó más rápido.

La utilización de productos químicos es sumamente importante para realizar un proceso de limpieza adecuado. El 100 % de los productores utilizó jabón, el 37 % de los productores de leche fría usó cloro y un productor de leche caliente usó yodo como desinfectante. El uso de jabón y detergentes es importante para permitir la emulsificación de los glóbulos de grasa propios de la leche, mientras que el uso de desinfectantes elimina la mayor parte de la carga bacteriana acumulada durante el manejo de la leche. Los resultados aquí obtenidos fueron diferentes a los reportados por Bermúdez y di Silvestri (2006), quienes, en un estudio realizado en el municipio de Boyacá, Colombia, observaron que el 10 % de los productores lavaban y desinfectaban eficientemente los recipientes, el 70 % los lavaban eficientemente pero no los desinfectaban y el 10 % no los lavaban ni los desinfectaban.

6.2.1.2. Etapa de ordeño. La etapa de ordeño es una de las más críticas para la calidad de la leche, ya que, en ella, el producto queda expuesto a la suciedad de los pezones o de las manos de los ordeñadores. Por ello, es necesario llevar a cabo buenas prácticas de ordeño. Esta etapa se compone de las actividades de preparación de los pezones hasta la culminación de la extracción de la leche. Algunas de las actividades relacionadas con esta etapa pueden observarse en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Factores de manejo aplicados durante la etapa de ordeño en las unidades de producción incluidas en el estudio.

Característica	Leche fría	Leche caliente
Lavado de ubre/pezones (%)	42.1	50
Secado de ubre/pezones (%)	42.1	50
Uso de toallas individuales (%)	0	0
Realización de despunte (%)	42.1	100
Tiempo de ordeño por vaca (min)	7.1±3.2	5.5±0.7
Tipo de ordeño (%)		
Ordeño manual	100	100
Ordeño total	10.5	0
Ordeño parcial	89.5	100

El lavado de los pezones es la primera actividad relacionada con la rutina de ordeño. Para llevarla a cabo, los productores utilizaron agua sola o con yodo o cloro para quitar todo tipo de suciedad. La actividad debe iniciar mojando cuidadosamente con agua limpia y tibia los pezones, evitando mojar el resto de la ubre. Lo anterior es parte de las recomendaciones de la FAO (2011), quien en el “Manual de buenas prácticas de ordeño” menciona que no se debe lavar la ubre porque es muy difícil secarla y el agua que escurre puede contener suciedad y contaminar las manos del ordeñador o la leche.

En las unidades de producción incluidas en el presente estudio, únicamente el 42.1 % y el 50 % de los productores de leche fría y leche caliente, realizaron el lavado de pezones, respectivamente. En el caso de los productores que no realizaron el lavado de pezones, se observó que trataban de eliminar la suciedad lavando con leche y sin realizar el secado, lo cual propicia la contaminación de manos de los ordeñadores y de la leche extraída.

El secado de los pezones consistió en utilizar toallas de papel o de tela para secar el exceso de agua después de lavar los pezones. El 42.1 % y el 50 % de los productores de leche fría y leche caliente, realizaron el secado de pezones, respectivamente. Para realizar de manera correcta el secado de pezones, se recomienda utilizar una toalla individual y pasarla sobre el pezón dos veces, asegurándose de que sequen en su totalidad (FAO, 2011).

A pesar de que casi la mitad de los productores realizó el secado de pezones, se observaron diferentes fallas como la utilización de trapos para secar los pezones de todas las vacas. Asimismo, la técnica de secado consistió en movimientos irregulares, sin ningún orden lo que no garantizó que los pezones quedaran completamente secos antes de comenzar el ordeño. Otro factor de suma importancia es que ninguno de los productores que realizó el secado de pezones utilizó toallas individuales, lo cual predispone a la transmisión de mastitis entre los animales del hato.

La estimulación de los pezones consistió en un ligero masaje para provocar en la vaca la bajada de la leche, en el ganado de doble propósito hay otros factores que son más determinantes para desencadenar este reflejo, como la aplicación de oxitocina o la presencia del becerro durante el ordeño (Román *et al.*, 2009). Por esa razón, no se consideró un factor de importancia en la calidad de la leche.

El despunte consistió en la eliminación de los primeros dos o tres chorros de leche de cada pezón. El 42.1 % de los productores de leche fría y el 100 % de los productores de leche caliente realizaron el despunte (Cuadro 8). Lo anterior indica que una alta proporción de los productores de leche fría no considera esta actividad dentro de la rutina de ordeño

El ordeño consistió en la extracción de la leche acumulada en la glándula mamaria. El 100 % de los productores incluidos en este estudio realizó un ordeño manual. Los productores de leche fría se tardaron en promedio 7.1 min para ordeñar una vaca, mientras que los productores de leche caliente se tardaron 5.5 min por vaca (Cuadro 8). De acuerdo con la FAO (2011), el tiempo recomendado para ordeñar una vaca es de cinco a siete minutos. Si el ordeño dura más tiempo, habrá una retención natural de la leche y se incrementará el riesgo de que el animal sufra un cuadro de mastitis.

6.2.1.3. Etapa de pos-ordeño. Abarcó desde la finalización del ordeño hasta la entrega de la leche en el centro de acopio. Las actividades de esta etapa se focalizaron en la limpieza del área de ordeño, el manejo de la vaca, el manejo de la leche y el control de la mastitis.

6.2.1.3.1. Limpieza del área de ordeño. Consistió predominantemente en retirar las heces y lodo, colocándolas alrededor del local. Para ello, los productores utilizaron herramientas como pala y escoba. El tiempo destinado a la limpieza del área de ordeño fue en promedio de 15 minutos.

La limpieza del local determina en gran medida el grado de higiene con la que se lleva el ordeño. Un local demasiado sucio tiene una mayor carga de microbios ambientales que pueden contaminar la leche. Asimismo, los locales sucios

aumentan la probabilidad de que las vacas ensucien su superficie corporal, especialmente las patas y cola que pueden aumentar el riesgo de contaminación de la leche con partículas físicas como lodo o estiércol.

Las características de diseño y construcción del local donde se lleva a cabo el ordeño determinan en gran medida las actividades de limpieza. En el Cuadro 9, se pueden observar algunas características de las instalaciones y los hábitos de limpieza de los productores.

Cuadro 9. Características del local de ordeño y frecuencia de limpieza.

Características	Leche fría	Leche caliente
Características de instalaciones (%)		
Piso de tierra	63.2	50
Piso de concreto	36.8	50
Sin techo	73.7	50
Intervalo de limpieza (días)	17.2±40.9	15.5±20.5

Del total de unidades de producción incluidas en esta fase del estudio, el 63.2 % de las que producen leche fría y el 50 % de las que producen leche caliente presentaron un área de ordeño con piso de tierra. Asimismo, el 73 % de las unidades productoras de leche fría y el 50 % de las unidades de leche caliente tuvieron locales de ordeño sin techo. Estos datos indican que, las áreas de ordeño no guardaban un diseño basado en recomendaciones técnicas, sino que fueron áreas improvisadas para tal fin. La ausencia de piso de cemento, paredes o techo impide que el ordeño se pueda realizar bajo condiciones de higiene (Martínez *et al.*, 2011).

El intervalo de limpieza a fondo del local de ordeño utilizado por los productores fue de 17.2 y 15.5 para las unidades de producción de leche caliente y fría, respectivamente. Lo anterior significa que los productores tardan más de 15 días en realizar la limpieza a fondo de las instalaciones donde ordeñan y diariamente retiran el excremento y orina con ayuda de palas.

6.2.1.3.2. Manejo de la vaca. Consistió en el desatado de las patas y cola y el arreo del ganado al área de pastoreo. Con base en la información recopilada en la encuesta y la inspección visual, se determinó que dichas actividades no afectaron la calidad de la leche, por lo que no se profundizará sobre ellas.

6.2.1.3.3. Manejo de la leche. Las actividades dependieron del sistema de entrega de leche. En el sistema de leche fría, se registraron siete actividades, mientras que en el sistema de leche caliente se contabilizaron tres. Las actividades comunes a ambos sistemas fueron: vaciado y colado de la leche en recipientes, traslado de la leche al centro de acopio y entrega de la leche en el centro de acopio. En el sistema de entrega de leche fría, además de las actividades mencionadas, se incluyeron el traslado al tanque de enfriamiento, entrega en el tanque de enfriamiento, medición de la leche y traspaso de la leche al recipiente de transporte.

El vaciado y colado de la leche en recipientes fue una actividad común a ambos sistemas de entrega de leche y se llevó a cabo al término del ordeño. Generalmente, los productores acumulan la leche ordeñada de cada vaca en cubetas de plástico de 10 a 20 L de capacidad. Una vez ordeñada la vaca, los productores vacían la leche inmediatamente en recipientes de plástico o metal. Se observó que esta actividad afecta la calidad de la leche, ya que a través de ella se retiran partículas orgánicas e inorgánicas que la contaminan. Los principales materiales que contaminan la leche son partículas de estiércol y pelos. En todas las unidades de producción se realizó el colado de la leche utilizando pedazos de tela gruesa que se colocaron en la parte superior del recipiente donde se almacenó la leche. Este resultado es diferente a lo observado por Bermúdez y di Silvestri (2006), quienes, en un estudio realizado en Boyacá, Colombia, observaron que el 70 % de los productores realizó el colado de la leche. La diferencia de resultados entre el estudio mencionado y la presente investigación pudo deberse a que en el primero la leche era comercializada a queseros locales quienes no tenían criterios de rechazo, mientras que, en el

presente estudio, la aceptación de la leche en el centro de acopio está supeditada a la calidad que presenta.

El traslado de la leche al tanque de enfriamiento fue una actividad específica del sistema de entrega de leche fría. Una vez que el productor termino de colectar la leche en los recipientes de almacenamiento, su siguiente actividad es el traslado de la leche hasta el sitio donde se encuentra el tanque de enfriamiento colectivo. Para el transporte, los productores utilizaron bicicleta, caballo y principalmente, motocicletas.

La duración del traslado de la leche al tanque de enfriamiento y otras características de manejo después de la ordeña se pueden observar en el Cuadro 10. La duración del traslado dependió de la ubicación de la unidad de producción con respecto al tanque de enfriamiento. En promedio, los productores tardaron 13.7 min en trasladar la leche al tanque de enfriamiento, con un rango de cinco a 20 minutos.

Cuadro 10. Manejo de la leche después de la ordeña y causas de rechazo en las unidades de producción incluidas en el estudio.

Característica	Leche fría	Leche caliente
Utilización de tanque de enfriamiento (%)	100	0
Traslado de ordeña a tanque de enfriamiento (min)	13.7±10.8	—
Traslado al centro de acopio (min)	30±0	22.5±10.6
Número de rechazos de leche en el último mes	1±0	2.5±0.7
Causa de rechazo de leche el último mes (%)		
Acidez	100	100

Este resultado fue diferente a lo observado en un estudio realizado en el norte de Antioquía, Colombia, donde se observó un tiempo promedio de 148 min desde el fin del ordeño hasta la llegada de la leche al tanque de enfriamiento, con un rango de 90 a 180 min (Ruíz-Cortés *et al.*, 2012). La diferencia de resultados entre el estudio referido y la presente investigación se puede atribuir a que, aunque en el primero, las distancias entre las unidades de producción y el tanque de enfriamiento son cortas (cinco a 500 m) la leche permanece almacenada por más de dos horas hasta antes de ser entregada. En cambio, en el presente estudio,

los productores transportan la leche al tanque de enfriamiento inmediatamente después de terminar de ordeñar.

La entrega de la leche en el tanque de enfriamiento también es una actividad específica del sistema de entrega de leche fría. Lo más importante de remarcar de esta actividad es el horario en el que los productores entregaron la leche al encargado del tanque de enfriamiento. La entrega de leche en el tanque de enfriamiento ocurrió entre las 5:30 y las 9:30 A.M. El horario podría repercutir en la calidad de la leche, ya que a medida que se ordeña más temprano, la temperatura ambiental a la que se maneja la leche es menor, disminuyendo la proliferación de bacterias. Cuando la temperatura ambiental es menor a 30 °C, los sistemas naturales inhibidores de la leche como la lactoferrina y la lactoperoxidasa pueden conservarla por más de ocho horas (FAO, 2023c).

La medición de la leche también es una actividad exclusiva del sistema de entrega de leche fría. Esta actividad consistió en medir la leche entregada con una cubeta de plástico de 20 L previamente marcada y una jarra del mismo material. Los productores utilizaron los recipientes para determinar la cantidad de leche que entregaron.

Los recipientes utilizados se lavaron con agua y jabón previo a que los productores comenzaran a entregar. Sin embargo, una vez que el primer productor entregó, los recipientes permanecieron a la intemperie sin ningún tipo de higiene. En algunos casos, fue cuestión de unos cuantos minutos para que llegara el siguiente productor, pero en otros casos, la espera se prolongó hasta los 40 minutos. Esto pudo haber representado un riesgo de crecimiento bacteriano, con repercusión en la calidad microbiológica de la leche.

El traspaso de la leche también fue específico del sistema de entrega de leche fría. Una vez que entregaba el último productor, el encargado del tanque de enfriamiento dejaba que se mezclara la leche y que alcanzara la temperatura óptima. Esta actividad se llevó a cabo diariamente y consistió en traspasar la leche desde el tanque de enfriamiento hasta un tinaco de plástico con capacidad

para 450 L, en el cual se transportó la leche al centro de acopio. Para ello, se utilizó una bomba eléctrica. Por no tardarse más de 10 minutos y por utilizar un sistema cerrado, esta actividad no representó por sí misma un riesgo que afectara la calidad de la leche. Sin embargo, si se relacionó de manera estrecha con la limpieza diaria que se realiza en los implementos que se utilizan para el bombeo y transporte de la leche.

El traslado de la leche al centro de acopio fue una actividad común a los sistemas de entrega de leche fría y caliente. En el caso de los productores de leche fría, el traslado desde el tanque de enfriamiento hasta el centro de acopio duró en promedio 30 min y se utilizó una camioneta. En el sistema de entrega de leche caliente, el traslado al centro de acopio duró en promedio 22.5 min y se realizó en camioneta o caballo. Una de las recomendaciones para transportar la leche es llenar completamente los recipientes para evitar la agitación de la leche, ya que esta favorece el desarrollo microbiano (Martínez *et al.*, 2011). Sin embargo, en todos los casos se observó que los productores no respetaron esta recomendación debido a la cantidad variable de leche que entregan diariamente.

La entrega de la leche en el centro de acopio consistió en la recepción de la leche por parte del personal. Inmediatamente después, se tomaron muestras de leche para realizar diferentes pruebas en las que se midió la calidad fisicoquímica. La prueba de alcohol sirvió como la prueba primaria para determinar la aceptación o rechazo inmediato de la leche. De manera aleatoria, se realizaron pruebas para cuantificar los componentes de la leche y las células somáticas, el grado de acidez, la medición indirecta de la carga bacteriana, el contenido de antibióticos, entre otros. Una vez que se validó la calidad de leche, se procedió a vaciarla en una tina para realizar su medición.

6.2.1.3.4. Control de la mastitis. Estuvo integrada por actividades no rutinarias que se relacionan con la calidad de la leche. Durante la visita que se realizó a las unidades de producción, no se detectó en el ordeño la realización de actividades para el control de la mastitis. Sin embargo, al

responder la encuesta los productores reportan algunas actividades, las cuales se pueden apreciar en el Cuadro 11.

Todos los productores de leche incluidos en el estudio no realizaron la práctica del sellado después del ordeño. Lo anterior obedece a que en el SDP los becerros permanecen con la madre hasta el destete, el cual ocurre entre los seis y los ocho meses de edad (Castillo, 2020).

Cuadro 11. Actividades relacionadas con el control de la mastitis bovina en las unidades de producción.

Característica	Leche fría	Leche caliente
Realización de sellado (%)	0	0
Saben qué es la mastitis subclínica (%)	57.9	100
Productores que realizan diagnóstico (%)	42.1	100
Intervalo de realización de diagnóstico (días)	65.8±173.2	30±0
Vacas con cuartos perdidos	1±1.1	2±1.4

Durante la lactancia, los productores acostumbran a dejar la leche de un cuarto para que el becerro se alimente o realizan un ordeño incompleto para que el becerro se alimente de la leche residual (Bautista *et al.*, 2019). Bajo estas condiciones, la práctica del sellado resultaría inútil, ya que la película de yodo sería eliminada por el becerro durante el amamantamiento.

El 58 % de los productores de leche fría no saben lo que es la mastitis subclínica y el 42 % realiza el diagnóstico de mastitis subclínica. El desconocimiento de la mastitis subclínica bovina y su falta de diagnóstico puede contribuir a que la prevalencia de la enfermedad sea mayor en las unidades de producción, ya que es una enfermedad que no se puede diagnosticar a simple vista. Todos los productores de leche caliente saben lo que es la mastitis subclínica y realizan el diagnóstico de la misma.

Una parte importante del éxito logrado en los programas de control de la mastitis bovina recae en el diagnóstico oportuno de la enfermedad. Es importante que la

unidad de producción tenga un método de diagnóstico precoz que permita detectar la enfermedad antes de que cause estragos económicos. Sin embargo, al preguntar sobre el intervalo en que realizan las pruebas para el diagnóstico, los ganaderos contestaron que en promedio cada 66 y 30 días, para los productores de leche fría y caliente, respectivamente (Cuadro 11). En este sentido, se recomienda que en climas templados el diagnóstico de mastitis se lleve a cabo mensualmente, mientras que, en el trópico, se recomienda realizarla de manera semanal (UGRJ, 2023). En el presente estudio, los intervalos de diagnóstico de la mastitis subclínica reportados por los productores fueron muy amplios, lo que puede contribuir a que las vacas presenten elevados conteos de células somáticas y casos de mastitis subclínica y clínica.

Debido al clima tropical, se puede esperar en las unidades de producción incluidas en el estudio una prevalencia de mastitis subclínica de moderada a alta. Asimismo, en ausencia de un programa de control de la enfermedad integral, los casos subclínicos tienden a evolucionar a clínicos. Cuando la mastitis clínica no es tratada adecuadamente, las lesiones en glándula mamaria de las vacas enfermas pueden ocasionar la pérdida de cuartos. Esto quedó de manifiesto en esta investigación, ya que, en promedio, las unidades de producción de leche fría y caliente presentan en promedio una y dos vacas con pérdida de un cuarto, respectivamente (Cuadro 11). En un estudio realizado en Tarímbaro, Michoacán, en el que se muestrearon 1,488 cuartos, se observaron 15 cuartos ciegos, lo que correspondió al 1 % del total (Guízar *et al.*, 2008). Proporcionalmente, en el presente estudio se tuvo un mayor porcentaje de cuartos ciegos, lo cual fue reflejo de la ausencia de un programa de control de la mastitis. Además, el clima del estudio citado fue templado húmedo, mientras que el clima en el que se desarrolló este estudio fue cálido húmedo, el cual favorece la proliferación de las bacterias causantes de la mastitis.

6.2.2. Identificación de los riesgos en el proceso de obtención-entrega de la leche al centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca, en unidades de producción de la Cuenca del Papaloapan. En la producción de

leche, es importante identificar los riesgos antes de que comprometan la inocuidad de la misma. Los riesgos del proceso obtención-entrega de leche en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca, se identificaron tomando como base la información proporcionada por los productores en la encuesta y la observación visual de las unidades de producción. Para ello, se utilizó el diagrama de flujo operacional que describe el proceso.

Como se ha mencionado anteriormente, el proceso obtención-entrega de leche fría y caliente en el centro de acopio estuvo integrado por tres etapas de manejo: pre-ordeño, ordeño y pos-ordeño. A lo largo de las tres etapas, se identificaron diferentes riesgos que pueden observarse en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Tipos de riesgos que existen en unidades de producción de leche de vaca.

Riesgo biológico	Riesgo químico	Riesgo físico
Parásitos	Residuos de pesticidas	Pelos
Virus	Residuos de medicamentos	Fragmentos de insectos
Bacterias patógenas	Metales pesados	Fragmentos de palos
	Toxinas naturales	Estiércol
		Tierra o polvo

Fuente: Birhanu *et al.* (2017).

Una vez establecidas las etapas y factores de manejo de la leche, se llevó a cabo un análisis para determinar si existían riesgos en cada uno de ellos. Los resultados del análisis se pueden observar en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Tipos de riesgos identificados en unidades de producción durante el proceso obtención-entrega de leche en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca.

Orden*	Factores de manejo de la leche	Tipo de riesgo
Pre-ordeño		
1	Arreo de la vaca al sitio de ordeño	—
2	Amarrado de la vaca	—
3	Aplicación de oxitocina	—
4	Lavado de manos y brazos del ordeñador	Físico, químico y biológico
5	Lavado de utensilios de ordeño	Físico, químico y biológico
Ordeño		
1	Lavado de pezones	Físico y biológico
2	Secado de pezones	Físico y biológico
3	Estimulación de pezones	—
4	Despunte	Biológico
Pos-ordeño		
1	Vaciado y Colado de la leche	Físico y biológico
2	Traslado al tanque de enfriamiento	—
3	Entrega en el tanque de enfriamiento	—
4	Medición de la leche	Biológico
5	Traspaso al recipiente de transporte	—
6/2**	Traslado de la leche al centro de acopio	—
7/3**	Entrega en el centro de acopio	—

* Orden establecido de acuerdo con el diagrama del flujo operacional de las etapas de obtención y manejo de leche (Figura 3).

** Orden establecido en el diagrama de flujo para los factores de manejo en los sistemas de leche fría y caliente, respectivamente.

6.2.2.1. Riesgos identificados durante la etapa de pre-ordeño.

Durante esta esta etapa, se llevaron a cabo actividades de preparación para realizar el ordeño. Aunque en ese momento aún no se haya extraído la leche, algunas de las actividades repercuten en su calidad.

El arreo de la vaca al sitio de ordeño no fue considerada una actividad que representara un riesgo para la inocuidad de la leche. Aunque se ha señalado que el estrés bloquea la liberación de oxitocina y obstaculiza la bajada de la leche (Odeón y Romera, 2017), esta actividad se consideró libre de riesgos, ya que, en el manejo posterior, la bajada de la leche fue estimulada por la aplicación de oxitocina exógena o por la presencia del becerro.

El amarrado de la vaca tampoco fue considerado riesgo debido a que todos los productores amarran las patas y cola de la vaca previo al ordeño, con eso, evitan que las vacas tiren o contaminen la leche.

El lavado de manos y brazos del ordeñador si representó riesgos físicos, químicos y biológicos, debido a que una alta proporción de ordeñadores no se lavaba las manos al inicio del ordeño ni al comenzar a ordeñar una nueva vaca, o bien, lo hacían de manera incorrecta. Cuando los ordeñadores no se lavaban las manos, transferían a la leche pelos, restos de tierra y excremento. Asimismo, se debe considerar que el ganado es sometido de manera rutinaria a tratamientos químicos para el control de ectoparásitos que se aplican de manera tópica. Cuando los ordeñadores amarran la vaca, entran en contacto con su superficie corporal y las sustancias químicas, con las que pueden contaminar la leche. Cuando las manos de los ordeñadores no son lavadas de manera adecuada, acumulan en su superficie una carga bacteriana elevada, misma que contamina a la leche durante su proceso de extracción. Además, una limpieza inadecuada de las manos entre el manejo de cada animal favorece la propagación de los microorganismos patógenos causantes de la mastitis bovina (Kruze, 1998).

El lavado de utensilios de ordeño también representó riesgos físicos, químicos y biológicos. Los riesgos físicos estuvieron representados por restos de tierra, partículas vegetales y fragmentos de cuerpos de insectos contenidos en el agua que utilizan los productores para lavar los utensilios.

6.2.2.2. Riesgos identificados durante la etapa de ordeño. Esta etapa incluyó la preparación de la glándula mamaria previa a la extracción de la leche.

El lavado de pezones representó riesgos físicos y biológicos dentro de la rutina de ordeño. Los riesgos físicos estuvieron representados por pelos, tierra y partículas de excremento adheridos a la piel del pezón; los riesgos químicos por residuos de productos utilizados en el control de ectoparásitos y los riesgos biológicos por la alta cantidad de bacterias ambientales y patógenas presentes en la superficie del pezón. El secado de los pezones también constituyó riesgos físicos y biológicos, ya que después del lavado, la ubre y los pezones quedaban escurriendo agua que arrastraba pelos y suciedad.

La estimulación de los pezones no representó ningún tipo de riesgo debido a que esta actividad tiene como objetivo estimular de manera natural la bajada de la leche. La totalidad de los productores utilizó la presencia del becerro o la aplicación de oxitocina exógena para estimular la bajada de la leche.

El despunte es una de las principales actividades asociada a la calidad microbiológica de la leche. Cuando esta práctica no se realiza, representa un riesgo biológico, ya que la leche ubicada en el canal del pezón presenta una alta cantidad de bacterias que contamina la leche ordeñada. Lo anterior, se relaciona con la degradación más rápida de los componentes de la leche y la acidificación de esta (Martínez *et al.*, 2011).

6.2.2.3. Riesgos identificados durante la etapa de pos-ordeño. Aunque esta etapa estuvo integrada por siete actividades, únicamente el vaciado y colado de la leche y la medición de la misma fueron consideradas como riesgos para la inocuidad (Cuadro 12).

El vaciado y colado de la leche constituyó la primera actividad después del ordeño. Los principales riesgos físicos asociados fueron las partículas de estiércol y los pelos. La alta carga bacteriana se constituyó como el principal

riesgo biológico debido a que muchos de los productores no se lavaron las manos antes de realizar esta práctica.

Tanto el traslado como la entrega de la leche en el tanque de enfriamiento no se consideraron factores de riesgo. El traslado representa un factor de riesgo en función del tiempo que dura. Sin embargo, en la presente investigación la su duración tuvo un rango de entre cinco y 20 minutos. La entrega de la leche en el tanque de enfriamiento se llevó a cabo en un horario donde la temperatura ambiental era relativamente baja, por lo que no se consideró que este factor contribuyera con la proliferación microbiana.

La medición de la leche fue una práctica muy distintiva del grupo de productores de leche fría, ya que previo a su vaciamiento al tanque de enfriamiento, deben determinar el volumen que están entregando. Esta práctica fue otra de las actividades dentro de la etapa de pos-ordeño que se consideró como un riesgo debido a la facilidad con la que la leche entregada por cada productor se puede contaminar en este paso de manejo. El principal riesgo que presentó esta actividad fue de tipo biológico, ya que todos los productores realizan el pesaje en el mismo recipiente. Una vez que los productores utilizan el recipiente, queda a la intemperie sin haber sido enjuagado, permitiendo la multiplicación de las bacterias ambientales.

Se consideró que el traspaso de la leche al recipiente de transporte y el traslado y entrega de leche en el centro de acopio no aportaron riesgos a la inocuidad de la leche. El traspaso se llevó a cabo con adecuadas medidas de higiene. Una vez que la leche fue traspasada, el traslado al centro de acopio se llevó a cabo dentro de la primera media hora. La rapidez del proceso fue corroborado al medir la temperatura de la leche a su llegada, siendo esta de 10 °C.

6.2.3. Establecimiento de los puntos críticos de control del manejo de la leche desde su obtención hasta su entrega en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca. Para establecer los PCC, se llevó a cabo un análisis detallado de las etapas detectadas previamente en el diagrama de flujo, mediante

la aplicación de un árbol de decisiones (Figura 1). Se consideró que un paso era un PCC si la aplicación de un control es suficiente para eliminar un riesgo o reducirlo a un nivel aceptable (Osorio-Arce y Segura-Correa, 2010).

El objetivo principal de identificar los PCC es anticiparse a la presentación de problemas dentro de un proceso de producción de alimentos, con el fin de establecer medidas de control o preventivas (Birhanu et al., 2017). En el presente estudio, la información que se obtuvo en la Fase 1 fue fundamental para que se pudieran identificar los PCC al aplicar el árbol de decisiones. Se identificaron en total siete PCC en todas las etapas de manejo de la leche: dos en el pre-ordeño (4 y 5), tres en el ordeño (1,2 y 4) y dos en el pos-ordeño (1 y 4), de acuerdo con la secuencia de riesgos por etapa registrados en el Cuadro 14. Así, los PCC fueron lavado de manos y brazos del ordeñador (PCC1), lavado de utensilios de ordeño (PCC2), lavado de pezones (PCC3), secado de pezones (PCC4), despunte (PCC5), vaciado y colado de la leche (PCC6) y medición de la leche (PCC7).

El número de PCC obtenido en este trabajo es muy parecido a lo reportado por Aguilera *et al.* (2022), quienes realizaron un estudio en una unidad de producción de leche de la Cuenca del Papaloapan e identificaron seis PPC asociados al ordeño. Sin embargo, los PCC reportados en ese trabajo son sustancialmente diferentes a los reportados aquí. En el estudio referido identificaron como PCC el lavado de la ubre, colocación de pezoneras, retiro de pezoneras, enjuagado de pezoneras, lavado de la sala de ordeña y el trasado de la leche a los tanques de enfriamiento. La diferencia entre el presente trabajo y el citado radica en la cantidad de unidades de producción incluidas. Las prácticas de manejo varían de manera muy importante entre las unidades de producción, ya que estas muestran una gran heterogeneidad en diversos aspectos.

Cuadro 14. Puntos críticos identificados en los riesgos durante las etapas del proceso de ordeño.

PCC	Riesgos	Medidas preventivas	Consulta
Pre-ordeño			
PCC1: lavado de brazos y manos del ordeñador	Biológico (microorganismos) físico (polvo) y químico (residuos de medicamentos)	Aplicación de BPP Lavar las manos y brazos con agua y jabón	FAO, 2011
PCC2: lavado de utensilios de ordeño	Biológico (microorganismos), físico (polvo, pelos) y químico (residuos de medicamentos)	Los utensilios deben ser lavados antes del ordeño con agua y jabón.	FAO, 2011
Ordeño			
PPC3: lavado de pezones	Biológico (microorganismos)	Realizar el lavado de pezones después de estimular a la vaca. Lavar la saliva del ternero que queda en los pezones.	FAO, 2011
PPC4: secado de pezones	Biológico (microorganismos)	El secado se realiza con una toalla individual; pasar dos veces por cada pezón hasta que quede seco	FAO, 2011
PCC5: despunte	Biológico (microorganismos)	Tirar los primeros tres chorros de leche de cada pezón	SAGARPA, 2010; FAO, 2011
Pos-ordeño			
PCC6: vaciado y colado de la leche	Biológico (microorganismos) físico (partículas extrañas y pelos)	Usar una manta de tela gruesa, la cual debe cubrir totalmente el orificio de entrada del recipiente de almacenamiento	FAO, 2011
PCC7: medición de la leche	Biológico (microorganismos)	Lavar el recipiente cada vez que se pese la leche por productor	—

6.2.3.1. PCC1. Lavado de manos y brazos del ordeñador. Esta es una práctica de manejo que se realiza previo al ordeño. Se consideró como un PCC debido a que, aunque el 41.2 % de los productores de leche fría y 100 % de los productores de leche caliente se lavan las manos y brazos al inicio del ordeño (Cuadro 7), lo hacen de forma incorrecta.

El lavado de manos y brazos del ordeñador previo al ordeño es parte de las buenas prácticas de ordeño que ayudan a obtener leche de alta calidad y disminuyen la transmisión de agentes patógenos entre los animales del hato (FAO, 2011; Belage *et al.*, 2017; SENASICA, 2019). La técnica correcta para el lavado de manos consiste en eliminar la materia orgánica con abundante agua, aplicar jabón y dejarlo actuar durante más de 30 segundos frotando el dorso de las manos y las palmas, las muñecas, los espacios interdigitales y debajo de las uñas. Finalmente, las manos deben enjuagarse con abundante agua y secarse preferentemente con toallas desechables (Kruze, 1998).

Se consideró que esta práctica es un PCC porque, aunque el 41.2 % y 100 % de los productores de leche fría y leche caliente, contestó durante la encuesta que lavan sus manos y brazos antes de comenzar el ordeño, durante la visita a las unidades de producción se observó que los productores incluidos en este estudio incurren en diferentes fallas. Primero, varios productores utilizan el agua de los arroyos cercanos para realizar la limpieza durante el ordeño, lo cual implica que el agua no es potable. La totalidad de los productores que se lava las manos no realiza una limpieza minuciosa. Algunos no utilizan jabón, otros, no frotan las manos de manera correcta para desprender la suciedad, o bien, no destinan el tiempo suficiente para enjabonar sus manos. Una alta proporción de los productores comienza a manipular la glándula mamaria sin haber secado previamente sus manos. Por todas las fallas corroboradas, esta práctica se considera un PCC, ya que, al mejorar la técnica de lavado de manos y brazos, se podría reducir la contaminación física, química y biológica de la leche.

6.2.3.2. PCC2. Lavado de utensilios de ordeño. Esta práctica se consideró un PCC por diferentes fallas observadas durante el procedimiento. Para llevar a cabo la limpieza de los utensilios, se recomienda iniciar inmediatamente después de que estos se hayan dejado de utilizar, emplear agua limpia a una temperatura entre 35 y 40 °C y una solución detergente. Para hacer más eficiente el proceso de limpieza, usar un cepillo de cerdas suaves o esponja durante el tiempo suficiente para eliminar los glóbulos de grasa adheridos, enjuagar con suficiente agua para eliminar el detergente y la suciedad, dejar secar los utensilios y proteger su orificio de entrada para evitar contaminación, previo a su utilización enjuagar con una solución desinfectante y enjuagar con agua limpia (INIFAP, 2011).

En contraparte con lo mencionado en el párrafo anterior, en la presente investigación, se detectaron diversas fallas durante el lavado de recipientes. Para realizar la limpieza, la mayoría de los productores no utilizó agua potable, ya que la obtuvo de arroyos cercanos a su unidad de producción. Algunos productores lavaron los utensilios demasiado rápido, sin destinar el tiempo suficiente para que el detergente pudiera eliminar las bacterias presentes, o bien, para que se pudieran degradar los glóbulos de grasa que podía contaminar la leche del siguiente ordeño. Otra falla detectada fue el enjuague deficiente debido a que, ante la escasez de agua, los productores limitan la cantidad que emplean, existiendo la posibilidad de dejar restos de detergente o desinfectantes. El hecho de que gran parte de los productores utilizara recipientes de plástico y que no los cambiara constantemente, propició que el material se degradara, obstaculizando una limpieza adecuada. De esta manera, después del proceso de limpieza, algunos componentes de la leche permanecieron en las superficies irregulares, ofreciendo la posibilidad servir como sustrato para el crecimiento bacteriano. Algo similar ocurrió en los recipientes metálicos de baja calidad, los cuales al oxidarse no permitieron realizar una limpieza adecuada, contribuyendo a la acidificación de la leche.

6.2.3.3. PCC3. Lavado de pezones. De acuerdo con el Cuadro 7, en menos de la mitad de las unidades de producción incluidas en el estudio se llevó a cabo el lavado de pezones, por lo que esta práctica fue considerada un PCC. El objetivo del lavado de los pezones es reducir el riesgo de infección de mastitis y aumentar la calidad de la leche (Gleeson *et al.*, 2009). Se ha recomendado que el lavado de los pezones se realice con agua potable a baja presión sin involucrar a toda la ubre y frotar enérgicamente la superficie con la mano para eliminar la suciedad (Kruze, 1998). Cuando se moja la totalidad de la ubre, es complicado secarla y el agua con suciedad comienza a escurrir, existiendo la posibilidad de contaminar las manos de los ordeñadores y la leche (FAO, 2011).

En las unidades de producción incluidas en este estudio, una alta proporción de ordeñadores que lavaron los pezones de las vacas, incurrieron en varias fallas. El agua utilizada para lavar proviene de arroyos y pozos, lo que no garantiza que esté libre de contaminantes. Los productores que lavan pezones, utilizaron un pequeño volumen de agua debido a la escasez de esta en las unidades de producción, por lo que no alcanzaron a eliminar completamente la suciedad de la superficie de los pezones. Para hacer más eficiente el proceso de limpieza de los pezones, se ha recomendado utilizar soluciones desinfectantes a base de yodo, hipoclorito de sodio, fenol o alcohol (Gleeson *et al.*, 2009).

6.2.3.4. PCC4. Secado de los pezones. El secado de pezones es un procedimiento que consiste en eliminar el agua o restos de desinfectantes de la punta de la superficie de los pezones. Constituye la parte más importante de la limpieza de los pezones ya que evita que el agua sucia escurra hacia la leche o manos de los ordeñadores. Para realizar el secado de pezones de manera correcta, se debe utilizar una toalla individual por pezón y realizar un movimiento giratorio hacia abajo para secar y eliminar residuos de desinfectantes (Toledo, 2023).

El 42.1 % de los productores de leche fría y el 50 % de los productores de leche caliente incluidos en este estudio llevaron a cabo el secado de pezones. Sin

embargo, en la inspección visual de la actividad se identificaron fallas, como la utilización de un solo trapo para limpiar todos los pezones y la realización de movimientos irregulares para secarlos. La utilización de un solo trapo para secar todos los pezones de la vaca representa uno de los principales riesgos para la diseminación de patógenos involucrados en la mastitis contagiosa (Mendoza *et al.*, 2017). Asimismo, representa un vehículo para diseminar bacterias ambientales que potencialmente podrían contaminar la leche y afectar su calidad (Gleeson *et al.*, 2009).

6.2.3.5. PCC5. Despunte. Esta práctica consiste en eliminar los primeros dos o tres chorros de leche de cada pezón para desechar la leche residual presente en el canal del pezón y que contiene un alto contenido de bacterias (Calderón *et al.*, 2008). Por lo tanto, es uno de los factores de manejo con mayor repercusión en la calidad de la leche. En el presente estudio, únicamente el 42.1 % de los productores de leche fría llevó a cabo el despunte, por lo que se consideró como factor de riesgo. Además de su repercusión en la calidad microbiológica de la leche, el despunte también permite la identificación de un aspecto anormal de la leche, lo cual es distintivo en los casos de mastitis clínica.

6.2.3.6. PCC6. Vaciado y colado de la leche. Esta fue la primera actividad que se realizó posterior al ordeño. Fue muy importante porque permitió eliminar las partículas presentes en la leche. Aunque se realizó en todas las unidades de producción, se observó que varios productores no lo llevaron a cabo de manera correcta. A veces, el pedazo de tela presentaba agujeros por los cuales podían pasar partículas sólidas. En otras ocasiones, los productores no cubrían completamente la entrada del recipiente, permitiendo que en el sitio donde no había tela, entrara leche sin colar. Por esa razón, esta actividad se consideró como un PCC.

6.2.3.7. Medición de la leche. Esta práctica de manejo distintiva del grupo de productores se consideró como un PCC porque los productores utilizaron el mismo recipiente por espacio de aproximadamente seis horas para realizar la medición del volumen de leche que entregaron, sin realizar un

enjuague y lavada entre productor y productor. El hecho de que el recipiente permaneciera con los restos de leche del productor anterior durante un periodo de tiempo variable, representó un riesgo de crecimiento bacteriano.

6.3. Relación entre la mala calidad de la leche entregada en el centro de acopio de Loma Bonita y las prácticas de manejo en las unidades de producción

Aunque la leche entregada cumplió con las especificaciones del centro de acopio de Loma Bonita, se debe considerar que, la leche fría corresponde al producto acopiado de varios productores en el tanque de enfriamiento. Por tal razón, pueden existir productores que entregan leche de mala calidad y que no son detectados porque los análisis de calidad se realizan en el centro de acopio y no al entregar en el tanque de enfriamiento. Por ello, es importante identificar de manera individual la calidad para no poner en riesgo la aceptación de la leche entregada por todos los productores. En el Cuadro 15 se pueden observar los productores cuya leche de manera individual tuvo algunas características que no entraron dentro de las especificaciones para la aceptación en el centro de acopio.

Cuadro 15. Relación de productores que entregan leche al centro de acopio de Loma Bonita con parámetros afectados en la calidad de leche.

Productor	Grasa (%)	Proteína (%)	Lactosa (%)	SNG (%)	CS (cel mL ⁻¹)	Reductasa (min)	Acidez titulable (g L ⁻¹)
Productor 9 ^a	3.2	3.2	4.7	8.7	111,000	160	1.5
Productor 12 ^a	3.9	3.1	4.6	8.4	1,500,000	150	1.6
Productor 18 ^a	1.7	2.3	3.3	6.1	950,000	180	1.6
Productor 21 ^a	9.1	3.4	5.0	9.1	958,000	180	1.6
Productor 30 ^f	3.7	3.2	4.6	8.5	1,466,000	140	1.5

De los 30 productores incluidos en el estudio, cinco entregaron leche con características no deseables. Algunos de los parámetros que no presentaron

valores óptimos de calidad fueron el tiempo de reducción del azul de metileno, el conteo de células somáticas, el contenido de grasa, proteína y la acidez titulable.

En el Cuadro 16 se presenta una relación de los productores que fallaron en alguno de los parámetros de calidad y algunos de los PCC identificados en su proceso de manejo de la leche.

Cuadro 16. PCC identificados en los productores que entregaron leche en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca, con fallas en alguno de los parámetros de calidad.

PCC/Productor	P9	P12	P18	P21	P30
PCC1: lavado de brazos y manos del ordeñador	X	X	X	X	X
PCC2: lavado de utensilios de ordeño	X			X	X
PPC3: lavado de pezones	X	X	X		X
PPC4: secado de pezones	X	X	X	X	X
PPC5: despunte	X	X			
PCC6: vaciado y colado de la leche					X
PCC7: medición de la leche	X	X	X	X	

El Productor 9 presentó un tiempo de reducción del azul de metileno de 160 min. La información reportada por el productor en la encuesta y posteriormente corroborada por inspección visual indicó algunas fallas en algunas actividades de manejo. Tomando como referencia los PCC identificados (Cuadro 14), el productor no se lavó las manos al inicio de la sesión de ordeño, aunque lavó y secó los recipientes de ordeño, no utilizó jabón, lavó los pezones, pero no los secó y no realizó el despunte. Al igual que los otros productores, realizó la medición de leche con un recipiente que no se lavó ni enjuagó después de usarlo. Considerando que los parámetros de composición de la leche, conteo de células somáticas y el valor de la acidez titulable se encuentran dentro del rango considerado como normal y que en la prueba de reductasa tuvo un valor bajo, aunado a un transporte desde la unidad de producción al tanque de enfriamiento (4 min), se puede concluir que estos hallazgos se deben a la mala higiene durante el proceso de ordeño. La leche bajo estas condiciones comienza a acumular una

mayor carga bacteriana. Es ampliamente aceptado que la leche proveniente de vacas sanas contiene pocos microorganismos y que adquiere la mayor parte de carga bacteriana en el manejo posterior a su extracción (Deddefo *et al.*, 2023). Esta alta carga bacteriana no afecta las características de composición de la leche debido al poco tiempo que transcurre entre el final del ordeño y la llegada de la leche al tanque de enfriamiento.

El Productor 12 no realizó el lavado de manos ni de ubre antes de realizar el ordeño, no llevó a cabo el despunte, almacenaba la leche en una perola de plástico, una vez finalizado el ordeño el traslado de la leche de la unidad de producción al tanque de enfriamiento se realizó en bicicleta. En el tanque se realizó la medición de leche con un recipiente que no se lavó ni enjuagó. Asimismo, en el momento que se realizó el estudio, tres vacas del hato estaban enfermas de mastitis. Al revisar las características de la leche que entregó, se observó que no presentaba alteraciones en su composición, sin embargo, si mostró conteos altos de células somáticas ($1.5 \text{ millones CS mL}^{-1}$), tiempo de reducción del azul de metileno disminuido (150 min) y una acidez titulable en el límite superior permisible (1.6 g L^{-1}). Lo anterior, permitió deducir que los parámetros de mala calidad de la leche se debieron a una mala higiene durante el proceso de ordeño y a la presencia de animales con infección en la glándula mamaria.

El Productor 18 no se lavó las manos antes de comenzar el ordeño ni lavó y secó los pezones de las vacas, llevó a cabo el ordeño total. Usó oxitocina para estimular la bajada de la leche y en promedio se tardó 10 minutos en ordeñar a cada vaca. En el momento de realizar la inspección visual contaba con dos vacas enfermas y dos vacas con cuartos ciegos. Lavó los recipientes de ordeño con agua y jabón y no los secó. En la entrega en el tanque de enfriamiento, utilizó un recipiente que no se lavó ni enjuagó. La leche que entregó en el tanque tuvo valores reducidos en el contenido de grasa (1.7 %), proteína (2.3 %), lactosa (3.3 %), SNG (6.1 %). Asimismo, tuvo conteo elevado de células somáticas ($950,000 \text{ CS mL}^{-1}$), tiempo de reducción del azul de metileno reducido (180 min)

y el valor de acidez titulable se situó en el límite superior (1.6 g L^{-1}). Los resultados del análisis fisicoquímico de la leche fueron compatibles con la adición de agua para aumentar el volumen entregado. La adición de agua es la forma más simple de fraude y una fuente de contaminación microbiológica. De acuerdo con Calderón-Rangel *et al.* (2013), una alta proporción de los productores adultera la leche mediante la adición de agua. Los autores mencionados realizaron un estudio en Montería, Córdoba, Colombia, en el que obtuvieron 99 muestras de cuatro procesadoras de queso y en el 22 % de las muestras detectaron adición de agua. En el presente estudio, la muestra del Productor 18 fue procesada en el analizador automatizado y se detectó que contenía el 29.7 % de agua añadida. Además, la cantidad elevada de células somáticas, el tiempo de reducción del azul de metileno cercano al límite inferior y el valor de acidez titulable situado en el límite superior indican que la leche tenía una elevada carga bacteriana que, aunque no alteró las características de composición de la leche, sí la situó en el límite del rechazo por acidez.

El Productor 21 no se lavó las manos al inicio del ordeño, aunque realizó el lavado de pezones, se observó que los secó a todos con el mismo trapo. Los recipientes que utilizó para el proceso de ordeño eran de plástico y a pesar de lavarlos con agua y jabón, no los secó. Además, utilizó una garrafa de plástico para transportar la leche al tanque de enfriamiento que no permitía realizar una limpieza adecuada en su interior. En el tanque, realizó la medición de la leche en un recipiente que no se lavó ni enjuagó. El examen fisicoquímico de la leche que entregó mostró un valor anormal en el contenido de grasa (9.1 %), aunado a un conteo elevado de células somáticas ($958,000 \text{ CS mL}^{-1}$), un tiempo de reducción del azul de metileno cercano al límite inferior (180 min) y valor de acidez titulable cercano al límite superior (1.6 g L^{-1}). El alto contenido de grasa en leche es imposible de alcanzar para el ganado de esta región, que se alimenta a base de pastoreo. Por esta razón, se sospecha que el productor utilizó algún adulterante para incrementar este parámetro. Para incrementar la grasa de la leche se han utilizado aceites vegetales y grasas animales como el aceite de pescado, sebo y manteca (Gutiérrez-Tolentino *et al.*, 2007). Sin embargo, los análisis para

diferenciar entre diferentes tipos de grasas en leche no son rutinarios a nivel de los centros de acopio, por lo que resulta complicado identificar los casos de adulteración. El conteo alto de células somáticas indicó la presencia de una alta proporción de animales con mastitis y los resultados de la prueba de reductasa y acidez titulable indican que la leche tuvo una carga bacteriana alta.

El Productor 30 no se lavó las manos al inicio del ordeño, no realizó lavado ni secado de pezones. El día que se realizó el muestreo, había dos vacas enfermas de mastitis y una vaca que presentaba un cuarto perdido. El productor utilizaba un recipiente de acero inoxidable para almacenar y transportar la leche al centro de acopio y a pesar de lavarlo con jabón y enjuagarlo, no lo secó. También se observó que el fondo del recipiente mostró presencia de óxido. Al vaciar y colar la leche, se observó que el trapo utilizado para tal fin no ocupó la totalidad de la tapa de la perola. En el análisis fisicoquímico de la leche no se observaron valores anormales en los parámetros de composición de la leche, sin embargo, si se observó un conteo elevado de células somáticas ($1,466,000 \text{ CS mL}^{-1}$), un tiempo de reducción del azul de metileno muy bajo (140 min) y un valor de acidez titulable cercano al límite superior (1.5 g L^{-1}). Los parámetros de la leche evidencian una alta proporción de animales del hato enfermos de mastitis, un manejo higiénico deficiente de la leche y el uso de recipientes que no permiten realizar una limpieza adecuada.

En general, la falla de los parámetros de calidad que consideró el centro de acopio para rechazar la leche, se asoció a deficiencias en el manejo como falta de higiene durante el proceso de ordeño, o bien, la adición de adulterantes para adecuar el producto a los criterios de calidad establecidos por el centro de acopio. Lo anterior evidencia la necesidad de trabajar en la capacitación de productores sobre las buenas prácticas de producción.

7. CONCLUSIONES

La prueba de alcohol reveló que toda la leche entregada en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca, mostró estabilidad térmica por lo que se puede someter a procesos industriales que impliquen su aumento de temperatura. Casi todas las unidades de producción cumplieron con las características fisicoquímicas de la leche establecidas por el centro de acopio; únicamente en dos unidades de producción se encontraron irregularidades en la leche que entregaron. La carga bacteriana estimada de manera indirecta mediante la prueba de reductasa mostró que toda la leche entregada en el centro de acopio cumplió con el parámetro de un tiempo de reducción del azul de metileno superior a 120 minutos, y que la leche se clasificó en las categorías de buena a regular calidad y buena calidad.

El diagrama de flujo de actividades de manejo permitió identificar tres etapas. En la etapa de pre-ordeño se incluyeron cinco actividades (arreo de la vaca al sitio de ordeño, amarrado de la vaca, aplicación de oxitocina, lavado de manos y brazos del ordeñador y lavado de utensilios de ordeño). En la etapa de ordeño se identificaron cuatro actividades (lavado de pezones, secado de pezones, estimulación de los pezones y despunte). En la etapa de pos-ordeño se identificaron siete actividades de manejo en los productores que entregan leche fría (vaciado y colado de la leche en recipientes, traslado al tanque de enfriamiento, entrega en el tanque de enfriamiento, medición de la leche, traspaso de la leche al recipiente de transporte, traslado de la leche al centro de acopio y entrega en el centro de acopio). En los productores que entregan leche caliente, únicamente se observaron tres actividades (vaciado y colado de la leche en recipientes, traslado de la leche al centro de acopio y entrega en el centro de acopio).

En las actividades de manejo relacionadas de manera directa con la calidad de la leche, se identificaron riesgos físicos, químicos y biológicos. Los riesgos físicos estuvieron representados por pelos, fragmentos o cuerpos de insectos, restos de tierra y partículas de excremento. Los riesgos químicos fueron principalmente

restos de productos químicos utilizados en el control de los ectoparásitos y los restos de detergentes y desinfectantes. Los riesgos biológicos estuvieron representados por una alta carga bacteriana que, por cuestiones de mal manejo, entró en contacto con la leche.

En el proceso obtención-entrega de leche en el centro de acopio existieron actividades de manejo que se constituyeron como PCC (lavado de manos y brazos del ordeñador, lavado de utensilios de ordeño, lavado de pezones, secado de pezones, despunte, vaciado y colado de la leche y medición de la leche). En dichas actividades, al aplicar un control los riesgos se eliminan o se reducen a un nivel aceptable.

La aplicación del enfoque HACCP resultó útil para identificar los riesgos y los PCC durante el proceso de ordeño, almacenamiento y transporte de la leche que se entrega en el centro de acopio de Loma Bonita, Oaxaca.

8. LITERATURA CITADA

- Agudelo, D. A., Bedoya, M. O. 2005. Composición nutricional de la leche de ganado vacuno. *Revista Lasallista de Investigación*. 2(1):38-42.
- Aguilera, M. M. E., Ramírez, O. S., Morales, C. P. A., Antonio, C. C. M. 2022. Identificación de puntos críticos de control en el ordeño mecánico de un hato lechero de la cuenca del Papaloapan. *Temas de Ciencia y tecnología*. 26(76):53-57.
- Anderson, S., Wadsworth, J. 1995. *Proceeding of the International Workshop on Dual Purpose Cattle Production Research*. Merida: International Foundation for Science-Universidad Autónoma de Yucatán. 368 p.
- Arce, R. C., Aranda, I. E. A., Osorio, A. M. M., González, G. R., Díaz, R. P., Hinojosa, C. J. A. 2017. Evaluación de parámetros productivos y reproductivos en un hato de doble propósito en Tabasco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 8(1):83-91.
- Arias, R. A, Mader, T. L, Escobar, P. C. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 40:7-22.
- Bautista, M. Y., Espinosa, G. J. A., Herrera, H. J. G., Martínez, C. F. E., Vaquera, H. H., Estrada, D. B., Granados, R. L. D. 2019. Óptimos técnicos para la producción de leche y carne en el sistema bovino de doble propósito del trópico mexicano. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 10(4):933-950.
- Becker, T. A., Negrelo, I. F., Racoulte, F., Drunkler, D. A. 2010. Evaluation of the sanitary quality of integral milk in nature, pasteurized, UHT and powder commercialized in Medianeira and Serranópolis do Iguaçu – Paraná. *Ciências Agrárias*. 31(3):707-716.

- Belage, E., Dufour, S., Bauman, C., Jones-Bitton, A., Kelton, D. F. 2017. The Canadian National Dairy Study 2015—Adoption of milking practices in Canadian dairy herds. 100(5):3839-3849.
- Bermúdez, E. N., de Silvestri, J. A. 2006. Análisis del proceso de ordeño y de la calidad higiénica de la leche utilizada en la fabricación del queso Paipa en el municipio de Paipa (Boyacá), Colombia. *Revista de Investigación*. 6(2):163-170.
- Birhanu, W., Hagos, Y., Bassazin, G., Mitku, F. 2017. A review on hazard analysis critical control point in milk and milk products. *World Journal of Dairy & Food Science*. 12(1): 52-65.
- Bermúdez, E. N., de Silvestri, J. A. 2006. Análisis del proceso de ordeño y de la calidad higiénica de la leche utilizada en la fabricación del queso Paipa en el municipio de Paipa (Boyacá), Colombia. *Revista de Investigación*. 6(2):163-170.
- Birhanu, W., Hagos, Y., Bassazin, G., Mitku, F. 2017. A review on hazard analysis critical control point in milk and milk products. *World Journal of Dairy & Food Science*. 12(1): 52-65.
- Bondan, C., Aneris, F. J., Noro, M., Lazzari, Q. D., Martini, M. K., Diaz, G. F.H. 2018. Milk composition of Holstein cows: a retrospective study. *Ciência Rural*. 48(12):1-8. DOI: [10.1590/0103-8478cr20180123](https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20180123).
- Briñez, W. J., Valbuena, E., Castro, G., Tovar, A., Ruiz-Ramírez, J. 2008. Algunos parámetros de composición y calidad en leche cruda de vacas doble propósito en el municipio Machiques de Perijá. Estado Zulia, Venezuela. *Revista Científica*, 18(5):607-617.
- Bruckmaier, R. M., Ontsouka, C. E., Blum, J. W. 2004. Fractionized milk composition in dairy cows with subclinical mastitis. *Veterinárni Medicina*. 49(8):283-290.

- Caballero, C. S., Villa, G. A. 2010. Fisiología veterinaria e introducción a la fisiología de los procesos productivo. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia-Universidad Nacional Autónoma de México. México, DF. 717 p.
- Calderón, R. A., Rodríguez, R. V., Vélez, R. S. 2007. Evaluación de la calidad de leches en cuatro procesadoras de quesos en el municipio de Montería, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*. 12(1):912-920.
- Calderón, R. A., Jiménez, P. G., García, C. F. 2008. Determinación de buenas prácticas de ordeño en un grupo de gestión empresarial de ganaderos del altiplano cundiboyacense. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 11:143-152.
- Calderón-Rangel, A., Rodríguez, V. C, Martínez, H. N. 2013. Determinación de adulterantes en leches crudas acopiadas en procesadoras de quesos en Montería (Córdoba). *Orinoquia*. 17(2):202-206.
- Calvache, G. I., Navas, P. A. 2012. Factores que influyen en la composición nutricional de la leche. *Revista Ciencia Animal*. 1(5):73-85.
- CANILEC (Cámara Nacional de Industriales de la Leche). 2021. Estadísticas del sector lácteo 2010-2020. Disponible en: <https://www.canilec.org.mx/wp-content/uploads/2021/04/Compendio-del-Sector-Lacteo-2021.pdf>.
- Carrisoza, U. I. 2022. Principales pruebas de calidad de leche, factores que la afectan y cómo corregirlos. Disponible en: <https://www.ganaderia.com/destacado/principales-pruebas-de-calidad-de-leche-factores-que-la-afectan-y-como-corregirlos>. Consultado en marzo de 2023.
- Castillo, G. E. 2020. Producción de doble propósito tropical. Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical-Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <https://fmvz.unam.mx/zootecnia/ceiegtlech tropical.html>. Consultado en julio de 2023.

- Castro, L. C. J., Sánchez, G. R., Iruegas L. F. E., Saucedo G. L. 2001. Tendencias y oportunidades de desarrollo de la red leche en México. FIRA Boletín Informativo. 33:317. Ed. Época. México, D.F.
- Cerf, O, Donnat, E., the farm HACCP Working Group. 2011. Application of hazard análisis-critical control point (HACCP) principles to primary production: What is feasible and desirable? Food Control. 22(12):1839-1843.
- Chávez-Martínez, A., Reyes-Villagrana, R., Rentería-Monterrubio, A. L., Sánchez-Vega, R., Tirado-Gallegos, J. M, Bolivar-Jacobo, N. A. 2020. Low and high-intensity ultrasound in dairy products: applications and effects on physicochemical and microbiological quality. Foods. 9:1688.
- Creppy, E. E. 2002. Update of survey, regulation and toxic effects of mycotoxins in Europe. Toxicology Letters. 127:19-28.
- Cruz, O. M. L, Ospina, G. N. C. 2006. Elaboración de prerrequisitos HACCP para las pequeñas industrias de lácteos y cárnicos en la finca Las Palmas (Tesis de Licenciatura). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Lasalle. Bogotá, Colombia; 134 p.
- Cullor, J. S. 1995. Implementing the HACCP programme on your clients' dairies. Veterinary Medicine. 90:290-295.
- Deddefo, A., Mamo, G., Asfaw, M., Amenu, K. 2023. Factors affecting the microbiological quality and contamination of farm bulk milk by *Staphylococcus aureus* in dairy farms in Asella, Ethiopia. BMC Microbiology. 23:65. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12866-022-02746-0>.
- Del Valle, M. C., Álvarez, A., García A. 1996. El sistema de leche y lácteos en México: viabilidad y perspectivas de desarrollo. Comercio Exterior. 46(8):652-656.

- DeLaval®. 2023. Accesorios de ordeño. Disponible en: <https://www.delaval.com/es-co/descubra-nuestros-productos/accesorios-de-ordeno/>. Consultado en mayo de 2023.
- Echeverri, Z. J. J., Jaramillo, M. G., Restrepo, B. L. F. 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.
- Esparza-Jiménez, S., Albarrán-Portillo, B., González-Ronquillo, M., García-Martínez, A., Vázquez-Armijo, J. F., Arriaga-Jordán, C. M. 2021. Rendimiento de leche derivado de energía y proteína de vacas en pastoreo recibiendo suplementos en un sistema agrosilvopastoril. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 12(1):87-104.
- EU (European Union). Regulation (EC) No 853/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the hygiene of foodstuffs. *Off J Eur Communities* 2004; L226, 3e21.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2002. Sistemas de calidad e inocuidad de los alimentos. Manual de capacitación sobre higiene de los alimentos y sobre el Sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (APPCC). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y el Ministerio de Sanidad y Consumo de España. Roma, Italia. 46 p. Disponible en: <https://www.fao.org/3/w8088s/w8088s.pdf>. Consultado en julio de 2023.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)-OMS (Organización Mundial de la Salud). 2005. Codex Alimentarius. Higiene de los alimentos. Textos básicos. 3ª ed. Secretaría del Programa Conjunto FAO/OMS sobre Normas Alimentarias, Roma, Italia. Disponible en: <https://www.fao.org/3/y5307s/y5307s00.htm#Contents>. Consultado en agosto de 2023.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2011. Manual I Buenas Prácticas de Ordeño. Disponible en: <https://www.fao.org/3/bo952s/bo952s.pdf>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)-OMS (Organización Mundial de la Salud). 2015. Comisión del *Codex Alimentarius*-Manual de procedimiento. 23ª ed. Roma, Italia. 234 pp.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2023a. Portal lácteo. Recogida y transporte. Disponible en: <https://www.fao.org/dairy-production-products/processing/collection-and-transport/es/>. Consultado en marzo de 2023.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2023b. Portal lácteo. Composición de la leche. Disponible en: <https://www.fao.org/dairy-production-products/products/composicion-de-la-leche/es/>. Consultado en marzo de 2023.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2023c. Portal lácteo. Conservación de la leche. Disponible en: <https://www.fao.org/dairy-production-products/processing/milk-preservation/es/>. Consultado en julio de 2023.
- FDA (Food and Drug Administration). HACCP Principles and application guidelines. 2017. Disponible en: <https://www.fda.gov/food/hazard-analysis-critical-control-point-haccp/haccp-principles-application>. Consultado en febrero de 2023.
- Ferraro, D. 2012. Concepto de calidad de leche. Su importancia para la calidad del producto final y para la salud del consumidor. APROCAL. Programa de promoción de calidad de leche. La Serenisima, Mastellone. Disponible en: http://www.aprocal.com.ar/wp-content/uploads/calidad_de_leche.htm.pdf.

- Forsbäck, L., Lindmark- Mansson, H., Andrén, A., Akerstedt, M., Svennersten-Sjaunja, K. 2009. Udder quarter milk composition at different levels of somatic cell count in cow composite milk. *Animal*. 3(5):710-717.
- Garcez-Mercado, N., Serrano-Solís, A, Aedo, L.B., Lammoglia-Villagómez, M. A., Carrasco-García, A. A. 2013. Indicadores de bienestar animal en bovinos de doble propósito en un municipio de Veracruz. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*. 1(2):88-98.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5a Ed. Instituto de Geografía. UNAM. Serie libro Núm. 6. 90 p.
- García-Muñiz, J. G., Mariscal-Aguayo, D. V., Caldera-Navarrete, N A., Ramírez-Valverde, R., Estrella-Quintero, H., Núñez-Domínguez, R. 2007. Variables relacionadas con la producción de leche de ganado Holstein en agroempresas familiares con diferente nivel tecnológico. *Interciencia*, 32,12:841-846.
- García-Vázquez, Z., Rosario-Cruz, R., Ramos-Aragon, A., Cruz-Vázquez, C., Mapez-Sanchez, G. 2005. *Neospora caninum* seropositivity and association with abortions in dairy cows in Mexico. *Veterinary Parasitology*. 134:61-65.
- Gleeson, D., O'Brien, B., Flynn, J., O'Callaghan, E., Galli, F. 2009. Effect of pre-milking teat preparation procedures on the microbial count on teats prior to cluster application. *Irish Veterinary Journal*. 62(7):461-467.
- Gómez, C. H., A. Tewolde, J., Nahed, T. 2002. Análisis de los sistemas ganaderos de doble propósito en la zona centro del estado de Chiapas, México. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 10(3):175-182
- González, C. G. R., Molina, S. B., Coca, V. R. 2010. Calidad de la leche cruda. Primer Foro sobre Ganadería Lechera de la Zona Alta de Veracruz. Disponible en:

https://www.uv.mx/apps/agronomia/foro_lechero/Bienvenida_files/CALIDADDELALECHECRUDA.pdf. Consultado en febrero del 2023.

- González, I. Prerrequisitos del Sistema APPCC: Punto de partida hacia la Seguridad Alimentaria. Centro de Vigilancia Sanitaria Veterinaria (VISAVET). 2007. Disponible en: <https://www.madrimasd.org/blogs/alimentacion/2007/01/30/58358>
- Guízar, F. P. J. I., Bedolla, C. J. C. 2008. Determinación de la prevalencia de mastitis bovina en el municipio de Tarímbaro, Michoacán, mediante la prueba de California. REDVET. Revista electrónica de Veterinaria. 9(10):1-34.
- Gutiérrez, N., Pastrana, E., Ramírez, E. 2010. Desarrollo de un instrumento para evaluar prerrequisitos en el sistema HACCP. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 8(1):106-119.
- Gutiérrez-Tolentino, R., Vega y León, S., Díaz- González, G., Delgadillo-Gutiérrez, H. J., Urban- Carrillo, G., Ramírez-Ayala, A., González-Cabrera, C., Méndez-Ramírez, I. 2007. Detección de grasa extraña en grasa láctea por cromatografía de gases y estadística multivariable. Agrociencia 41(7):733-742.
- Hanuš, O., Samková, E., Křížová, L., Hasoňová, L., Kala, R. 2018. Role of fatty acids in milk fat and the influence of selected factor son their variability-A review. Molecules. 23(7):1-32
- Harding, F. 1995. Milk quality. Springer Science-Bussines Media. Whiltshire, United Kingdom. 166 p.
- Harjanti, D. W., Sambodho, P. 2020. Effects of mastitis on milk production and composition in dairy cows. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 518:1-4.

Hazard, T. S., Christen, I. M. F. 2006. Composición y calidad de la leche. Tierra Adentro. (66):34-35. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/6234>.

Hernández, C. S. C. 2022. Análisis comparativo de tres herramientas de caracterización e identificación (HPLC, AA e IR) de compuestos en productos lácteos, sus principales usos y aplicaciones para el control de calidad. Una revisión básica (Tesis de Licenciatura). Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador. 44 p.

Hernández, R. J. M., Bedolla, C. J. L. 2008. Importancia del conteo de células somáticas en la calidad de la leche. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria. 9(9):1-34.

Huss, H. H. 2003. Development and adoption of the HACCP principles. En: Huss, H. H., Ababouch, L., Gram, L. Assessment and management of seafood safety and quality. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO fisheries technical paper 444. Rome, Italy. Disponible en: <https://www.fao.org/3/y4743e/y4743e0i.htm#bm18.1>. Consultado en agosto de 2023.

INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial. 2012. ¿Qué son las Buenas Prácticas de Manufactura-BPM? Disponible en: http://www.inti.gob.ar/productos/pdf/mat_BPM.pdf. Consultado en marzo de 2023.

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2011. Mejora continua de la calidad higiénico-sanitaria de la leche de vaca. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Microbiología Animal. Folleto Técnico Núm. 3. Cuajimalpa, D. F. 60 p.

Internacional Organization for Standardization (ISO). 2005. Sistemas de gestión de la calidad-Fundamentos y vocabulario (9000:2005). Disponible en:

<https://www.ipax.gob.mx/calidad/05-nivel5/01-fundamentos.pdf>.

Consultado en agosto de 2023.

- Juárez-Barrientos, J. M., Díaz-Rivera, P., Rodríguez-Miranda, J., Martínez-Sánchez, C. E., Hernández-Santos, B., Ramírez-Rivera, E., Torruco-Uco, J. G., Herman-Lara, E. 2016. Caracterización de la leche y clasificación de calidad mediante análisis Cluster en sistemas de doble propósito. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 7(4):525-537.
- Kassem, M., Salem, E., Ahwal, A. M., Saddik, M., Gomaa, N. F. 2002. Application of hazard analysis and critical control point system in the dairy industry. *La Revue de Santé de la Méditerranée Orientale*. 8(1):114-128.
- Kaushik, R., Sachdeva, B., Arora, S., Kapila, S., Kaur, W.B. 2014. Bioavailability of vitamin D2 and calcium from fortified milk. *Food Chemistry*. 147: 307-311.
- Kelly, A. L., Leitner, J., Merin, U. 2016. Milk quality and udder health: test methods and udder health. Reference Module in Food Science. Doi:10.1016/b978-0-08-100596-5.00951-3.
- Krawczel, P., Ferneborg, S., Wiking, L., Dalsgaard, T. K., Gregersen, S., Black, R., Larsen, T., Agenäs, S., Svennersten-Sjaunja, K., Ternman, E. 2017. Milking time and risk of over-milking can be decreased with early teat cup removal based on udder quarter milk flow without loss in milk yield. *Journal of Dairy Science*. 100:1-8.
- Kruze, J. 1998. La rutina de ordeño y su rol en los programas de control de mastitis bovina. *Archivos de medicina veterinaria*, 30(2):07-16.
- Labayen, I., Martínez, J. A. 2003. Bacterias probióticas y deficiencias de lactasa. *Gastroenterología y Hepatología*. 26(Suppl. 1):64-72.
- Leos-Rodríguez, J. A., Serrano-Páez, A., Salas-González, J. M., Ramírez-Moreno P. P., Sagarnaga-Villegas, M. 2008. Caracterización de ganaderos y unidades de producción pecuaria beneficiarios del programa de

estímulos a la productividad ganadera (PROGAN) en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 5(2):213-230.

LICONSA (Leche Industrializada Conasupo, S. A. de C. V.). 2007. Manual de normas de control de calidad de leche cruda. Disponible en: <http://liconsa.gob.mx/wp-content/uploads/2012/01/man-nor-cont-cal-lec-cruda-hist.pdf>.

LICONSA (Leche Industrializada Conasupo, S. A. de C. V.). 2020. Manual de procedimientos para la adquisición, recepción y pago de leche nacional en Liconsa, S. A. de C. V. Consultado el 11 de diciembre de 2021. Disponible en: <http://www.liconsa.gob.mx/wp-content/uploads/2021/06/08-.MAN.%20PROC.%20ADQ.%20REC.%20PAG.%20LECHE.%20NAL.%2018-DIC-2020.pdf.pdf>.

LICONSA (Leche Industrializada Conasupo, sociedad anónima). 2017. Disponible en: <https://www.gob.mx/liconsa/articulos/a-mas-de-15-mil-pruebas-diarias-se-somete-la-leche>

Loaiza, M. A., Cuevas, R. V., Moreno, G. T., Reyes, J. E. J., González, G.D. 2018. Innovaciones tecnológicas diferenciadas en el sistema de producción de bovinos doble propósito del trópico seco en Sinaloa. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Madrigal, C. R. J. 2022. La ganadería de traspatio, economía rural. Instituto de Ecología A. C. Disponible en: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/17-ciencia-hoy/1859-la-ganaderia-de-traspatio-economia-rural>. Consultado en marzo de 2023.

Magaña, J. G., Delgado, R. 1998. Algunas observaciones sobre el comportamiento reproductivo de vacas Pardo Suizo en el trópico subhúmedo de México. *Revista de Biomédicas*. 9:197-203.

- Magaña, M. J. G., Ríos, A. J., Martínez, G. J. C. 2006. Los sistemas de doble propósito y los desafíos en los climas tropicales de México. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 14(3):105-114.
- Martínez, R., Abelardo, J., Hernández, L., Escobar, M. C., Amaro, R., Blanco, M. A. 2011. Mejora continua de la calidad higiénico-sanitaria de la leche de vaca. Manual de capacitación. Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Microbiología Animal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico No. 3. Cuajimalpa, D. F. 60 p.
- Martínez, C.C.J., Cotera, R.J., Kido, C.M. 2013. Canales y márgenes de comercialización de productos lácteos en Dobladero, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Agronegocios* 32:281-288.
- McGrath, B. A., Fox, P. F., McSweeney, P. L. H., Kelly, A. L. 2016. Composition and properties of bovine colostrum: a review. *Dairy Science and Technology*. 96:133-158.
- Mendoza, J. A., Vera, Y. A., Peña, L. C. 2017. Prevalencia de mastitis subclínica, microorganismos asociados y factores de riesgo identificados en hatos de la provincia de Pamplona, norte de Santander. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia*. 64(2):11-24.
- Molina, L. H., González, R., Brito, C., Carrillo, B., Pinto, M. 2001. Correlación entre la termoestabilidad y prueba de alcohol de la leche a nivel de un centro de acopio lechero. *Archivos de Medicina Veterinaria*. 33(2):233-240.
- Moroni, P., Nydam, D. V., Ospina, P. A., Scillieri-Smith, J. C., Virkler, P. D., Watters, R. D., Welcome, F. I., Zurakowski, M., Ducharme N. G., Yeager, A. M. 2018. Diseases of the teats and udder. En: Peek, S. F., Drivers, T. J. (eds.). *Rebhun's diseases of dairy cattle*. 3^a ed., St. Louis Missouri, USA. Elsevier. pp 389-465.

- Mortensen, G., Andersen, U., Nielsen, J. H., Andersen, H. J. 2010. Chemical deterioration and physical instability of dairy products. En: Skibsted *et al.* (eds). Chemical deterioration and physical instability of food and beverages. Woodhead Publishing Limited. Cornwall, United Kingdom. Pp. 726-762.
- Norma Mexicana (NMX-F-700-COFOCALEC-2012). Sistema producto leche-Alimento lácteo-Leche cruda de vaca. Especificaciones fisicoquímicas, sanitarias y métodos de prueba.
- Norma Mexicana (NMX-F-737-COFOCALEC-2016). Sistema producto leche-Determinación de la densidad en leche fluida, mezcla de leche con grasa vegetal y producto lácteo-Método de prueba.
- Norma Oficial Mexicana (NOM-155-SCFI-2012). Leche-Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba.
- Nursereitova, M. A., Konuspayeva, G. S., Zhakupbekova, A. A., Amutova, F. B., Omarova A. S., Kondybayev, A. B., Bayandy, G. A., Akhmetsadykov, N. N., Faye, B. 2021. Detection of milk fat adulteration in commercial butter and sour cream. *International Journal of Dairy Science*. 16:18-28.
- Odeón, M. M., Romera, S. A. 2017. Estrés en ganado: causas y consecuencias. *Revista Veterinaria*. 28(1):69-77.
- OMS (Organización Mundial de la Salud)-FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2011. *Codex Alimentarius. Leche y Productos Lácteos*. 2^{ed} OMS-FAO. Roma, Italia. 259 p.
- OPS (Organización Panamericana de la Salud) 2012. *Procedimientos Operativos Estandarizados*. Disponible en: <http://publicaciones.ops.org.ar/publicaciones/publicaciones%20virtuales/libroVirtualPEIA/pdf/cap6.pdf>. Consultado el 18 de noviembre de 2015.

- Osorio, A. M. M. 1998. Caracterización de los sistemas bovinos de doble propósito en el trópico. Observaciones sobre el comportamiento productivo de grupos raciales. Memorias del Cuarto foro de Análisis de los Recursos Genéticos: Ganadería bovina de doble propósito. SAGAR. Villahermosa, Tabasco, México. p. 8-28.
- Osorio-Arce, M. M., Segura-Correa, J. C. 2010. Estimación de los directos raciales, maternos y de heterosis para los pesos al destete y al año de edad de ganado para carne en el trópico húmedo de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 12:463-469.
- Owusu-Kwarteng, J., Akabanda, F., Agyei, D., Jespersen, L. 2020. Microbial safety of milk production and fermented dairy products in Africa. *Micoroganisms*. 8(5):752.
- Pérez-Ruano M., Tarafa-Zambrana L. 2017. Evaluación del equipo Mas-D-Tec en el diagnóstico de campo de mastitis subclínica en el ganado bovino. *Revista de Salud Animal*. 39(3):1-7.
- Philpot, W. N. y Nickerson, S. C. 1993. Mastitis: El contraataque. Una estrategia para combatir la mastitis. Publicado por Babson Bros. Co. 1- 138.
- Posadas-Domínguez R. R., Arriaga-Jordán C. M., Martínez-Castañeda F. E. 2014. Contribution of family labour to the profitability and competitiveness of small-scale dairy production systems in central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*, 46, 235-240.
- Rahman, T., Sobur, A., Islam, S., Levy, S., Hossain, J., El Zowalaty, ME., Rahman, T. Ashour HM. 2020. Zoonotic diseases: etiology, impact, and control. *Microoganisms*. 8:1405.
- Ray, D. E., Halbach, T. J., Armstrong, D. V. 1992. Season and lactation number effects on milk production and reproduction of dairy cattle in Arizona. *Journal of dairy science*, 75(11):2976-2983.

- Razz, R., Clavero, T. 2007. Efecto de la suplementación con concentrado sobre la composición química de la leche en vacas doble propósito pastoreando *Panicum maximum* - *Leucaena leucocephala*. Revista científica 17(1):53-57.
- Rebollar, R. R., Rebollar, R. A., Gómez, T. G., González, R. F. J. 2017. Optimización de la producción de leche en vacas Pardo Suizo suplementadas con concentrado. Revista Mexicana de Agronegocios. 41:732-741.
- Remón-Díaz, D., González-Reyer, D., Martínez-Vasallo, A. 2019. Evaluación de la calidad higiénico-sanitaria de la leche cruda por métodos de flujo citométrico. Revista de Salud Animal. 41(1):1-8.
- Restrepo, G., Pizarro, E. J., Quijano, J. H. 2008. Índices de selección y niveles independientes de descarte para dos características productivas y reproductivas en un hato Holstein (*Bos taurus*). Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias. 21(2):239-250.
- Reyes, H.J. M. 2008. Importancia del conteo de células somáticas en la calidad de la leche. Revista Electrónica de Veterinaria. 9(9):1695-7504.
- Reyes, J. J., Ibarra, Y., Enríquez, A. V., Rey, S., Torres, V. 2021. Evaluación del consumo, comportamiento productivo y calidad de la leche de vacas en pastoreo de *Brachiaria decumbens* vc. Basilisk, con dos intensidades de pastoreo durante el período lluvioso. Cuban Journal of Agricultural Science. 55(3):275-283.
- Robledo, R. P. 2018. Producción de leche en México y su comercio de lácteos con países del APEC. Disponible en: <https://ru.iiec.unam.mx/3744/1/052-Robledo.pdf>.
- Rodríguez-Magadán, H., Salinas-Rios, T., Aquino-Cleto, M., Ortiz-Muñoz, I., Pérez-León, M., Jiménez-López, G, Hernández-Bautista, J. 2019.

Rendimiento y características organolépticas del queso fresco elaborado con leche positiva a la prueba del alcohol. *Agroproductividad*. 12:29-34.

Román-Ponce, I. S., Ruíz-López, F. J., Montaldo, H. H., Rizzi, R., Román-Ponce, H. 2013. Efectos de cruzamiento para producción de leche y características de crecimiento en bovinos de doble propósito en el trópico. *Revista Mexicana de Ciencia Pecuaria*. 4(4):405-416.

Román, P. H., Ortega, R. L., Hernández, A. L., Díaz, A. E., Espinosa, G. J. A., Núñez, H. G., Vera, A. H. R., Medina, C. M., Ruiz, L.F. J. 2009. Producción de leche de bovino en el sistema de doble propósito. Libro técnico Núm. 22. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Veracruz, Veracruz, México. 355 p.

Ruíz-Cortés, T., Orozco, S., Rodríguez, L. S., Idárraga, J., Olivera, M. 2012. Factores que afectan el recuento de UFC en la leche en tanque en hatos lecheros del norte de Antioquia-Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 15(1):147-155.

SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural)-LICONSA (Leche Industrializada Conasupo S.A. de C.V.). 2019. "Guía para el control de calidad en la recepción de leche cruda en centros de acopio"

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2013. Busca SAGARPA hacer rentables la lechería familiar y de traspatio. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/busca-sagarpa-hacer-rentables-lecheria-familiar-y-de-traspatio>. Consultado en febrero de 2023.

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación). 2004. Situación actual de la producción de leche de bovino en México. Disponible en:

http://www.lactodata.info/docs/lib/sagarpa_cgg_situacion_actual_produccion_2004.pdf.

SEDESOL (Secretaría de Desarrollo Social) – LICONSA (Leche Industrializada Conasupo S.A. de C.V). 2011. Políticas de Operación de los Centros de Acopio de Leche Nacional. Disponible en: <http://www.liconsa.gob.mx/wp-content/uploads/2012/02/00000315.pdf>

SE (Secretaría de Economía). Análisis del sector lácteo en México. 2012. Disponible en: https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/analisis_sector_lacteo.pdf

SEGALMEX (Seguridad Alimentaria Mexicana). 2021. Centro de acopio de leche de Loma Bonita, Oaxaca. Consultado el 11 de diciembre de 2021. Disponible en: <https://www.gob.mx/segalmex/articulos/centro-de-acopio-de-leche-en-loma-bonita-oaxaca?idiom=es>.

SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2019. Manual de Buenas Prácticas Pecuarias en Unidades de Producción de Leche Bovina. 2 a edición.

SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2019. ¿Por qué es importante la inocuidad de los alimentos? Consultado el 20 de junio de 2023. Disponible en: <https://www.gob.mx/senasica/articulos/por-que-es-importante-la-inocuidad-de-los-alimentos?idiom=es>.

Seymour, W. M., Campbell, D. R., Johnson, Z. B. 2005. Relationships between rumen volatile fatty acid concentrations and milk production in dairy cows: a literature study. *Animal feed science and technology*, 119:1-2, 155-169.

Sharma, N., Singh, N. K, Bhadwal S. 2011. Relationship of somatic cell count and mastitis: an overview. *Asian-Australian Journal of Animal Sciences*. 24(3):429-438

- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Escenario mensual de productos agroalimentarios. Leche de bovino. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/732714/Leche_de_Bovino_Abril.pdf. Consultado en febrero de 2023.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2023. Disponible en: http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceProd.jsp.
- Singh, A., Ramachandran, A. 2020. Assessment of hygienic milking practices and prevalence of bovine mastitis in small dairy farms of peri-urban area of Jaipur. *Indian Journal of Community Medicine*. 45:S21-S25.
- Skeie, S. 2010. Milk quality requirements for cheesemaking. En: Griffiths, M. W. (ed.). Cornwall, UK. Woodhead Publishing Limited. pp. 433-453.
- SNV (Stichting Nederlandse Vrijwilligers)-DTC (Dairy Training Center). 2017. Hygienic and quality milk production. Training package for dairy extension workers. Disponible en: https://snv.org/cms/sites/default/files/explore/download/hygienic_and_quality_milk_production_training_manual_and_guideline.pdf.
- Solomons, N. W. 2002. Fermentation, fermented foods and lactose intolerance. *European Journal of Clinical Nutrition*. 56(Suppl. 4): S50-S55.
- Soto, M. V. H., Alanís, M. J. L., Pech, C. J.M. 2019. Un año de observaciones meteorológicas en Loma Bonita, Oax., México; una referencia climatológica para su industria agropecuaria. *Revista científica Biológico agropecuaria Tuxpan*. 7(2):206-221.
- Suárez, F. Y. E., Suasnavas N, Calzadilla C., Cepero, O., Castillo, J. 2007. Procedimientos evaluativos de algunos prerrequisitos para la aplicación del Sistema de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP) en Mataderos REDVET 2007;8(8):1-11.

- Tewolde, A., J.C. Martínez G., E. Gutiérrez O., Magaña JG. 2002. Utilización estratégica de los recursos genéticos para la intensificación de los sistemas de producción bovina de doble propósito. Memorias del IX Curso Internacional de Reproducción Bovina. UNAM-FMVZ. México, D. F. p. 121-134.
- Tornadijo, M. E., Marra, A. I., García, F. M. C., Prieto, B., Carballo, J. 1998. Calidad química de la leche destinada a la fabricación de queso. *Journal of Food*. 2(2):79-91.
- Torres-Neira, O. L., González-Torres, Y. O., Pérez-Rubiano, C. C., Martínez-Martínez, M. I., Nausa-Patiño, Y. D., Mora-Parada, J. M. 2020. Evaluación de la calidad fisicoquímica, higiénica y microbiológica de la leche en un centro de acopio en Boyacá-Colombia. *Revista Científica, FVC-LUZ*. 30(2):75-81.
- Troller, P. A., Balbinotti, Z. M., Rocha, R. M. E., Vázquez, F. V. N., de Oliveira, S. J. 2008. Correlation between infra-red and ultra-sound methods to evaluate milk composition in milk contest at EXPOINTER 2007. *Acta Scientiae Veterinariae*. 36(3):273-276.
- Toledo, I. 2023. Programa de manejo del ordeño: procedimientos de ordeño adecuados para optimizar la eficiencia del ordeño y la calidad de la leche. UF (University of Florida) //IFAS (Institute of Food and Agricultural Sciences). Disponible en: <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/AN371>. Consultado en agosto de 2023.
- UE (Unión Europea). 2004. Reglamento (CE) N° 853/2004, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, por el que se establecen normas específicas de higiene de los alimentos de origen animal. DO L 139 de 30 de abril de 2004. Disponible en: <https://boe.es/doue/2004/139/L00055-00205.pdf>. Consultado en mayo de 2023.

- UGRJ (Unión Ganadera Regional de Jalisco). 2023. La prueba de California en aplicación semanal, una medida para el control de la mastitis en el trópico. Disponible en: https://www.ugrj.org.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=471. Consultado en julio de 2023.
- Vaccaro, L., López, D. 1995. Genetic improvement of dual purpose cattle in Latin America. Boletín de Información sobre Recursos Genéticos Animales-FAO 16:15-32.
- Vanegas, D. B., Martínez, M. 2011. Determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la leche en el municipio de Chipaque Cundinamarca y su comercialización (Colombia). Revista Sistemas de Producción Agroecológicos. 2(2):92-115.
- Vilaboa, A. J., Díaz, R. P. 2009. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los sistemas ganaderos en siete municipios del estado de Veracruz, México. Zootecnia Tropical. 27:4:427-436.
- Wall, A. K., Wellnitz, O., Hernández-Castellano, L., Ahmadpour, A., Bruckmaier, R. M. 2016. Supraphysiological oxytocin increases the transfer of immunoglobulins and other blood components to milk during lipopolysaccharide-and lipoteichoic acid-induced mastitis in dairy cow. Journal of Dairy Science. 99:9165-9173.
- Weinroth, M. D., Belk, A. D., Belk, K. E. 2018. History, development, and current status of food safety systems worldwide. Anime Frontier. 8:9-15.
- Zambrano, J. J., Grass, R. J. F. 2008. Valoración de la calidad higiénica de la leche cruda en la asociación de productores de leche de Sotarás-asproleso, mediante las pruebas indirectas de resazurina y azul de metileno. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 6(2):56-66.

9. ANEXO I

DIAGNÓSTICO SOBRE EL PROCESO OBTENCIÓN-ENTREGA DE LECHE EN EL CENTRO DE ACOPIO DE LOMA BONITA, OAXACA
--

Estimado productor, la presente encuesta forma parte de un proyecto de investigación sobre calidad de leche desarrollado en la Universidad del Papaloapan. La información que se proporcione será tratada bajo el principio de confidencialidad y con fines exclusivamente académicos.

Fecha:	
---------------	--

I. DATOS GENERALES

Nombre:			
Edad:		Sexo:	<input type="checkbox"/> Hombre <input type="checkbox"/> Mujer
Nombre del rancho:			
Dirección:			
Teléfono/E-mail:			

II. CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTOR

1. Escolaridad	a) Sin estudios b) Primaria c) Secundaria d) Bachillerato e) Licenciatura f) Otra: _____	Años cursados: _____
2. Ocupación principal:		
3. Ocupación secundaria:		
4. Años de dedicarse a la ganadería:		
5. Horas que dedica a la producción de leche:		
6. Número de integrantes de la familia que auxilian en las actividades ganaderas:		

III. CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD PRODUCTIVA

1. Número de animales:	
2. Extensión (Has):	

3. Tipo de ganado (razas, cruzas predominantes):	
4. Pastos predominantes:	
5. Tipo de pastoreo empleado:	
6. ¿Tiene problemas de inundaciones?:	

IV. MANEJO ASOCIADO A LA ORDEÑA

1. ¿Ordeña a la misma hora siempre?	Si _____ No _____	Hora: _____
2. Tipo de ordeña:	Manual _____ Mecánica _____ -	Ordeño total: _____ Permite que el becerro mame la leche residual: _____
3. ¿Cómo estimula la bajada de la leche?	Apoyo del becerro _____ Uso de oxitocina _____	
4. Acciones que realiza durante la ordeña:	Uso de agua: si _____ No _____ Lavado de la ubre _____ Lavado de manos antes de iniciar y entre cada vaca ordeñada _____ Secado de la ubre _____ Utilización de toallas de papel individuales _____ Realiza el despunte _____ Sellado _____	
5. Tiempo promedio para ordeñar una vaca:		
6. Lavado de utensilios/equipo/líneas de conducción:	No realiza _____ Si realiza _____ ¿Cada cuánto tiempo? _____	¿Qué producto utiliza? Jabón _____ - Cloro _____ - Agua caliente _____ Detergentes comerciales (ácido/alcalino) _____
7. Características del área de ordeña	Lugar: _____ Abierto _____	Cerrado _____

	Piso: _____ Tierra _____ Concreto _____ Paredes: Concreto _____ Materiales propios de la región _____ Con techo (material) _____ Sin techo _____
8. Limpieza de área de ordeña:	Si _____ No _____ ¿Cada _____ cuánto _____ tiempo? _____

V. MANEJO DE LA MASTITIS

1. Número de vacas enfermas de mastitis el último año:	
2. Número de vacas con cuartos perdidos:	
3. ¿Qué manejo realiza en una vaca con mastitis?	
4. ¿Qué hace con la leche de vacas con mastitis?	
5. Meses de mayor presencia de mastitis:	
6. ¿Sabe qué es la mastitis subclínica?	Si _____ No _____
7. ¿Ha realizado pruebas para diagnosticar mastitis subclínica?	Si _____ No _____ ¿Cuál? _____ Intervalo _____ de _____ realización: _____
8. ¿Realiza algún manejo especial en el secado de la vaca?	Si _____ No _____ ¿Cuál? _____

VI. MANEJO DE LA LECHE POSTERIOR A LA ORDEÑA

1. Tipo de recipiente en el que almacena la leche, previo a transportarla	Cubetas de metal _____ Perlas de plástico _____
---	--

2. El recipiente en el que almacena la leche tiene tapa	Si _____ No _____
3. ¿Qué tipo de limpieza realiza en los recipientes donde almacena la leche	Enjuaga únicamente _____ Utiliza jabón y enjuaga _____ Utiliza cloro y enjuaga _____ Seca los recipientes después del lavado _____
4. Tiempo que destina a la limpieza de los recipientes donde almacena la leche	
5. ¿Utiliza tanque de enfriamiento?	Si _____ NO _____ No aplica _____
6. ¿Cuál es la temperatura del tanque de enfriamiento?	
7. ¿Cada cuánto le da mantenimiento al tanque de enfriamiento?	
8. ¿Alguna vez ha fallado su tanque de enfriamiento	Si _____ No _____
9. En promedio cuánto tiempo pasa desde que se extrajo la leche de la última vaca hasta que inicia el traslado al centro de acopio	
10. ¿Cuánto tiempo tarda en llegar con la leche al centro de acopio?	
11. ¿Cuántas veces le han rechazado la leche durante el último mes?	
12. ¿Cuáles han sido las causas más frecuentes de rechazo?	
13. ¿A quién vende la leche si es rechazada del centro?	

Encuestador:

¡Gracias por su colaboración!