

**Universidad de El Salvador
Facultad de Ciencias Agronómicas
Escuela de Posgrado y Educación Continua**

Programa de Posgrado en Agronomía Tropical Sostenible



Evaluación física, química, microbiológica, minerales de interés nutricional y metales pesados en agua de consumo para ganado y metales pesados en leche en sistemas de producción bovina de tres zonas de El Salvador

Presentado por:

Ing. Juan Milton Flores Tensos

Tesis

**Presentada como requisito parcial para obtener el Grado de:
Maestro en Gestión Integral del Agua**

San Salvador, El Salvador, Centro América, 2016.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR INTERINO:

LIC. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN

SECRETARIA GENERAL:

DRA. ANA LETICIA ZA VALETA DE AMAYA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS

DECANO:

ING. M. Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO:

ING. M. Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

Esta Tesis fue realizada bajo la dirección del Tribunal Evaluador de Tesis indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

**Maestro
en Gestión Integral del Agua**

San Salvador, El Salvador, Centro América, 2016

Tribunal Evaluador de Tesis

Ing. M. Sc. Elmer Edgardo Corea Guillen
Asesor de Tesis y Presidente del Tribunal Evaluador de Tesis

Ing. M. Sc. Blanca Eugenia Torres de Ortiz
Secretaria del Tribunal Evaluador de Tesis

Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia
Vocal del Tribunal Evaluador de Tesis

Ing. M. Sc. Mario Antonio Orellana Núñez
Director de la Escuela de Posgrado y Educación Continua

Dedicatoria

A mi Señor y mi Dios Todopoderoso que me ha dado la fuerza, la valentía, la sabiduría, para sobrellevar todas las adversidades que se me presentaron y poder culminar este trabajo de investigación.

A mis padres, por apoyarme, animarme y guiarme en todo momento.

A mi hijo Horeb Adonay Flores, por ser mi razón de vida.

A mi hermano y hermana, por sus regaños y consejos.

A mis sobrinos por el apoyo que me brindaron.

Agradecimientos

A los miembros del tribunal evaluador de tesis: Ing. M. Sc. Elmer Edgardo Corea Guillen, Ing. M. Sc. Blanca Eugenia Torres de Ortiz e Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia, por su apoyo y orientación en el desarrollo de esta investigación.

A la Escuela de Posgrado y Educación Continua de la Facultad de Ciencias Agronómicas, por darme la oportunidad de haber realizado y culminar esta Maestría y en especial al Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia, por su apoyo en las gestiones necesarias durante el desarrollo de esta investigación. Por su paciencia, madurez, apoyo técnico para animarme siempre a culminar y siempre ver lo positivo de una adversidad.

A la Universidad de El Salvador por el apoyo financiero para la realización de mis estudios de Maestría, en especial a las Autoridades de la Facultad de Ciencias Agronómicas gestión 2006 y a las actuales.

Al jefe del Departamento de Química Agrícola Ing. Oscar Carrillo, al jefe de Protección Vegetal Ing. Leopoldo Serrano; a la Lic. Rosmery Erroa y al Lic. Rudy Anthony Ramos Sosa por su apoyo en la realización de los análisis en las muestras de agua en los laboratorios de Química Agrícola, Laboratorio de Microbiología y, en el laboratorio de Investigación y Diagnóstico del Departamento de Protección Vegetal, de la Facultad de Ciencias Agronómicas.

A mis compañeros y amigos incondicionales del Departamento de Química Agrícola: Flor de María López, Freddy Carranza Estrada, Norbis Salvador Solano, Blanca Lorena Bonilla de Torres (Tía Lore), Marito, Sonia Delmi Nerio, Dorita, Don Nico, por su colaboración en el desarrollo de la investigación y especialmente por darme ánimos en todo momento.

A la Agencia Internacional de Energía Atómica (OIEA), por ser parte fundamental en el financiamiento y equipamiento del laboratorio de Investigación del Departamento de Química Agrícola, dentro del proyecto ELS-5011, con el cual se ejecutó dicha investigación.

Índice

	Página
Resumen.....	17
Abstract.....	18
I. Introducción.....	19
II. Planteamiento del Problema.....	21
III. Objetivos.....	21
3.1 Objetivo General.....	21
3.2 Objetivos Específicos.....	21
IV. Hipótesis.....	21
V. Marco Teórico Conceptual.....	23
5.1 Recursos Naturales.....	23
5.2 El Agua.....	23
5.2.1 Agua Superficial.....	23
5.2.2 Agua Subterránea.....	24
5.3 Calidad del agua.....	24
5.4 Calidad del agua de los ríos de El Salvador.....	24
5.5 Índice de Calidad del Agua (ICA).....	27
5.5.1 Parámetros de calidad del agua.....	27
5.5.1.1 Parámetros físicos.....	28
5.5.1.2 Parámetros Químicos.....	29
5.5.1.3 Otros parámetros químicos que determinan la calidad del agua	32
5.5.1.4 Parámetros Microbiológicos.....	33
5.5.2 Clasificación del agua según su uso.....	35
5.5.3 Contaminantes del agua.....	37
5.5.3.1 Contaminantes naturales.....	37
5.5.3.2 Contaminantes antropogénicos.....	38
5.5.4 Clasificación de las sustancias contaminantes.....	39
5.6 Situación Actual de las ganaderías de El Salvador.....	42
5.6.1 Tipos de Explotaciones ganaderas.....	42

5.6.1.1 Ganadería de autoconsumo (subsistencia o familiar).....	42
5.6.1.2 Ganadería extensiva o de doble propósito.....	43
5.6.1.3 Ganadería intensiva o sistemas especializados de producción.....	44
5.7 Calidad del agua de consumo para ganado.....	45
5.7.1 Factores que afectan el consumo de agua en el ganado.....	46
5.7.2 Parámetros que determinan la calidad del agua de consumo para el ganado.....	47
5.7.2.1 Parámetros físicos-químicos.....	47
5.7.2.2 Parámetros Microbiológicos.....	51
5.7.2.3 Minerales y metales pesados.....	51
5.8 Metales pesados.....	52
5.8.1 Clasificación de los metales pesados.....	53
5.8.1.1 Plomo.....	53
5.8.1.2 Arsénico.....	54
5.9 Situación de la Producción Láctea de El Salvador.....	55
5.9.1 Parámetros que determinan la calidad de la leche cruda.....	56
5.9.1.1 Composición físico química de la leche.....	56
5.9.1.2 Composición microbiológica de la leche.....	57
5.9.2 Fuentes contaminantes de la leche.....	57
VI. Metodología.....	60
6.1 Ubicación.....	60
6.2 Duración.....	60
6.3 Unidades de estudio.....	61
6.4 Muestreos.....	61
6.4.1 Muestreos de agua.....	62
a) Muestras para metales pesados.....	63
b) Muestras para la calidad física, química y minerales de interés nutricional.....	63
c) Muestras para análisis microbiológico.....	63
6.4.2 Muestreos de leche.....	64
6.5 Metodologías de análisis de laboratorio.....	64
a) Preparación y análisis de las muestras de agua.....	64

b) Preparación y análisis de las muestras de leche.....	68
6.6 Metodología estadística.....	69
6.6.1 Estadística descriptiva.....	69
6.6.2 Comparación estadística.....	69
6.6.3 Prueba estadística.....	70
VII. Análisis y Discusión de resultados.....	71
7.1 Muestras de agua.....	71
7.1.1 Resultados de los análisis de las muestras de aguas por zonas y ganaderías.....	71
7.1.2 Resultados de los análisis de las muestras de aguas por épocas.....	82
7.2 Muestras de leche.....	88
7.2.1 Resultados de metales pesados en leche por zonas y ganaderías.....	88
7.2.2 Resultados de metales pesados en la leche por época.....	90
VIII. Conclusiones.....	92
IX. Recomendaciones.....	94
X. Bibliografía.....	95
XI. Anexos.....	107

Índice de Cuadros

	Página
Cuadro 1. Clasificación del agua para consumo humano.....	37
Cuadro 2. Concentración máxima de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, en el agua para uso y consumo de humanos y animales	48
Cuadro 3. Concentración máxima de minerales de interés nutricional y metales pesados en el agua para uso y consumo de humanos y animales	50
Cuadro 4. Requisitos microbiológicos de la leche cruda de vaca.....	57
Cuadro 5. Distribución de los muestreos por zona y por época.....	62
Cuadro 6. Especificaciones para medición de minerales y metales pesados por Espectrofotometría de Absorción Atómica por Horno de Grafito y Generador de Hidruros.....	66
Cuadro 7. Métodos para la determinación de parámetros físicos y químicos del agua potable (ICA)	67
Cuadro 8. Métodos para la determinación de los análisis microbiológicos en agua potable	67
Cuadro 9. Variables dependientes que se analizaron en las muestras de agua y leche	70
Cuadro 10. Valores promedio de minerales de interés nutricional en el agua para consumo de ganado lechero en tres zonas de El Salvador.....	72
Cuadro 11. Valores promedio del análisis de calidad del agua potable de los abrevaderos para consumo del ganado lechero por zonas.....	75
Cuadro 12. Valores promedio de los resultados de los análisis microbiológicos de las aguas de los abrevaderos de ganado lechero por zonas.....	78
Cuadro 13. Valores promedio de los análisis de metales pesados en aguas para ganado.....	80
Cuadro 14. Concentraciones de Minerales de interés nutricional de las aguas de consumo para ganado lechero por época.....	82
Cuadro 15. Valores promedio del análisis de calidad del agua potable para consumo de ganado lechero por época.....	84
Cuadro 16. Valores promedio del análisis microbiológico de las aguas para consumo de ganado lechero por época.....	86
Cuadro 17. Valores promedio de los análisis de metales pesados en agua para consumo de ganado lechero por época.....	87
Cuadro 18. Valores promedio de metales pesados en la leche por ganadería en las tres zonas estudiadas.....	89
Cuadro 19. Valores promedio de las determinaciones de metales pesados en leche por época seca y lluviosa según zona estudiada.....	90

Índice de Figuras

	Página
Figura 1. Puntos que identifican las diferentes zonas ganaderas a muestrear.	60
Figura 2. Toma de muestra de agua en abrevadero para ganado.....	62
Figura 3. Toma de muestras de leche de los tanques de refrigeración.....	64
Figura 4. Preparación y digestión de muestras de aguas para determinación de minerales de interés nutricional y metales pesados.....	65
Figura 5. Preparación y digestión de muestras de leche para determinación de minerales y metales pesados.....	69

Índice de Anexos

	Página
Anexo 1. Análisis físico químicos realizados a la leche cruda de vaca.....	107
Anexo 2. Metodología analítica para la determinación de Nitratos.....	108
Anexo 3. Marcha analítica para determinación de minerales y metales pesados en aguas urbanas por absorción atómica con horno de grafito y generador de hidruros	110
Anexo 4. Marcha analítica para la determinación de minerales y metales pesados en aguas superficiales por absorción atómica con horno de grafito y generador de hidruros.....	112
Anexo 5. Pretratamiento de la muestra de agua con ácido clorhídrico para determinación de minerales y metales pesados por absorción atómica con horno de grafito y generador de hidruros.....	114
Anexo 5A. Secuencia de pretratamiento de la muestra de agua con ácido Clorhídrico para determinación de minerales y metales pesados por absorción atómica con horno de grafito y generador de hidruros.....	115
Anexo 6. Pretratamiento de la muestra de leche con ácidos para determinación de metales pesados por absorción atómica con horno de grafito y generador de hidruros.....	116
Anexo 6A. Secuencia de pretratamiento de la muestra de leche con ácidos para determinación de metales pesados por absorción atómica con horno de grafito y generador de hidruros.....	118
Anexo 7. Preparación de la muestra de agua y leche para determinación de plomo.....	119
Anexo 8. Preparación de la curva estándar de Plomo.....	120
Anexo 9. Preparación de la muestra de leche para determinación de Arsénico.....	122
Anexo 10. Preparación de la muestra de agua para determinación de Arsénico.....	123
Anexo 11. Preparación de la curva estándar para Arsénico.....	124
Anexo 12. Ejemplo de informe de resultados del análisis de aguas presentado a cada ganadería, según época de muestreo (época seca) y zona (zona 1, 2 y 3).....	126
Anexo 13. Ejemplo de Informe de resultado del análisis de metales pesados para las muestras de leches presentados a cada ganadería, según época de muestreo (época seca) y zona (zona 1, 2 y 3).....	128

Anexo 14. Ejemplo de un análisis estadístico QQ-plot que determinan la distribución normal de los datos de Calcio realizado para cada parámetro por ganadería, por zona y por época.....	129
Anexo 15. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para la determinación de Calcio, por ganaderías de las tres zonas en estudio con referencia al valor establecido a la norma NSO13.07.01:08.....	129
Anexo 15B. Determinación de la diferencia estadística para Calcio, en tres ganaderías analizado por zonas en estudio con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	129
Anexo 16. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para la determinación de Sodio, por ganaderías de las tres zonas en estudio con referencia al valor establecido a la norma NSO13.07.01:08.....	130
Anexo 16B. Determinación de la diferencia estadística para Calcio, en tres ganaderías analizado por zonas en estudio con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	130
Anexo 17. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para la determinación de Zinc, por ganaderías de las tres zonas en estudio con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	130
Anexo 17B. Determinación de la diferencia estadística para Zinc, en tres ganaderías analizado por zonas en estudio con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.	131
Anexo 18. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para la determinación de Hierro, por ganaderías de las tres zonas en estudio con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	131
Anexo 18B. Determinación de la diferencia estadística para Hierro, en tres ganaderías analizado por zonas en estudio con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	131
Anexo 19. Sistema de tratamiento del agua de la ganadería uno, zona dos (El Conacaste).....	132
Anexo 20. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para la determinación de Minerales de interés nutricional Solidos Totales Disueltos (STD), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	133
Anexo 20B. Determinación de la diferencia estadística para determinación de Minerales de interés nutricional Solidos Totales Disueltos (STD), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	133

Anexo 21. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para la determinación de Turbidez, en tres ganaderías de tres zonas con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	133
Anexo 21B. Determinación de la diferencia estadística para determinación Turbidez, en tres ganaderías de tres zonas con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	134
Anexo 22. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para la determinación Minerales de interés nutricional y Dureza total (CaCO ₃), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	134
Anexo 22B. Determinación de la diferencia estadística para la determinación Minerales de interés nutricional y Dureza total (CaCO ₃), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	134
Anexo 23. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para la determinación de Sulfatos (SO ₄ ⁻²), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	135
Anexo 23B. Determinación de la diferencia estadística para la determinación de Sulfatos (SO ₄ ⁻²), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.	135
Anexo 24. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para la determinación de Nitratos (NO ₃ ⁻), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	135
Anexo 24B. Determinación de la diferencia estadística para la determinación de Nitratos (NO ₃ ⁻), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.	136
Anexo 25. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para la determinación de Coliformes Fecales (NMP/100 ml), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	136
Anexo 25B. Determinación de la diferencia estadística para la determinación de Coliformes Fecales (NMP/100 ml), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.	136
Anexo 26. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para la determinación de Coliformes Totales (NMP/100 ml), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	137

Anexo 26B. Determinación de la diferencia estadística para la determinación de Coliformes Totales (NMP/100 ml), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.	137
Anexo 27. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para determinación de Bacterias Heterótrofas (UFC/ml), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	137
Anexo 27B. Determinación de la diferencia estadística para determinación de Bacterias Heterótrofas (UFC/ml), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.	138
Anexo 28. Análisis de varianza por Kruskal Wallis para determinación de Cobre en agua, en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	138
Anexo 29. Análisis de varianza por Kruskal Wallis para determinación de Arsénico en agua, en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	138
Anexo 30. Análisis de varianza por Kruskal Wallis para determinación de Plomo en agua, en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	138
Anexo 31. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para determinación de Calcio, por época, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	139
Anexo 32. Determinación del análisis de varianza general lineal para la determinación de Sodio, por época, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	139
Anexo 33. Determinación del análisis de varianza general lineal para la determinación de Zinc, por época, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	139
Anexo 34. Determinación del análisis de varianza general lineal para la determinación de Hierro, por época, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	140
Anexo 35. Determinación del análisis de varianza general lineal para la determinación de Sólidos Totales Disueltos (STD), por época, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	140
Anexo 36. Determinación del análisis de varianza general lineal para la determinación de Durezas (CaCO ₃), por época, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	140

Anexo 37. Determinación del análisis de varianza general lineal para la determinación de Sulfatos (SO_4^{2-}), por época, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	141
Anexo 38. Determinación del análisis de varianza general lineal para la determinación de Nitratos (NO_3^-), por época, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	141
Anexo 39. Determinación del análisis de varianza general lineal para la determinación de Turbidez, por época con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	141
Anexo 40. Determinación del análisis de varianza general lineal para la determinación de Coliformes Fecales (NMP/100 ml), por época, para tres zonas estudiadas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	142
Anexo 41. Determinación del análisis de varianza general lineal para la determinación de Coliformes Totales (NMP/100 ml), por época, para tres zonas estudiadas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	142
Anexo 42. Determinación del análisis de varianza general lineal para la determinación de Bacterias Heterótrofas (UFC/ml), por época, para tres zonas estudiadas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.	142
Anexo 43. Contaminación generada en los abrevaderos de todas las ganaderías.....	143
Anexo 44. Análisis de varianza por Kruskal Wallis para determinación de Cobre en agua, por época para las tres zonas estudiadas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	144
Anexo 45. Análisis de varianza por Kruskal Wallis para determinación de Arsénico en agua, por época para las tres zonas estudiadas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	144
Anexo 46. Análisis de varianza por Kruskal Wallis para determinación de Plomo en agua, por época para las tres zonas estudiadas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	144
Anexo 47. Análisis de varianza por Kruskal Wallis para determinación de Arsénico, en leche para tres zonas estudiadas, con referencia al valor establecido al Código de MERCOSUR.	144
Anexo 48. Análisis de varianza por Kruskal Wallis para determinación de Plomo, en leche para tres zonas estudiadas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.....	145

Anexo 49. Análisis de varianza por Kruskal Wallis para determinación de Arsénico, en leche por época para tres zonas estudiadas, con referencia al valor establecido al Código de MERCOSUR.....	145
Anexo 50. Análisis de varianza por Kruskal Wallis para determinación de Plomo, en leche por época para tres zonas estudiadas, con referencia al valor establecido al CODEX Alimentarius.	145

Resumen

Flores Tensos, JM. 2014. Evaluación física, química, microbiológica, minerales de interés nutricional y metales pesados en el agua de consumo para ganado y la leche en sistemas de producción ganadera de tres zonas de El Salvador. Tesis Maestría. San Salvador, El Salvador, Universidad de El Salvador. 145 p.

Con el objetivo de conocer la calidad del agua de consumo para ganado y la leche que estos producen, se realizaron evaluaciones de los parámetros físicos, químicos, microbiológicos, minerales de interés nutricional y metales pesados, en tres zonas de El Salvador: Sonsonate, La Libertad y Chalatenango, en época lluviosa y seca. A cada muestra de agua y leche se le determinó la concentración de Plomo y Arsénico; además, al agua se le determinó la concentración de Calcio, Sodio, Zinc, Hierro, carbonatos, sulfatos, nitratos, temperatura, pH, sólidos totales disueltos, turbidez, coliformes fecales, coliformes totales y bacterias heterótrofas. Los resultados de calidad de agua fueron comparados con la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08, la concentración de metales pesados en leche fue contrastada con los datos del CODEX Alimentarius y Código MERCOSUR. Todas las variables se analizaron mediante prueba de “T” Student paramétrica ($p \leq 0.05$) con InfoStat 2008. El agua de bebida para ganado no cumple con los parámetros permisibles para coliformes fecales, coliformes totales, bacterias heterótrofas, presentando además variaciones en la concentración de turbidez, sulfatos, hierro, arsénico y plomo, durante las épocas estudiadas; mientras que los parámetros evaluados en leche se encuentran dentro de los límites permisibles.

Se concluye que el agua de bebida para el ganado en estas regiones de El Salvador no cumple con la calidad microbiológica estipulada en la Norma, sin embargo, no afecta la calidad de la leche producida tanto en época seca como lluviosa.

Palabras claves: Bovinos, calidad, agua, leche, metales pesados, minerales, ganadería.

Abstract

Flores Tensos, JM. 2014. Physical, chemical, microbiological evaluation, nutritional value minerals and heavy metals in drinking water for cattle and milk from production systems in three areas in El Salvador. Master Thesis. San Salvador, El Salvador, Universidad de El Salvador. 145 p.

In order to know the quality of drinking water for livestock and milk they produce, evaluation of physical, chemical, microbiological parameters, nutritional value minerals and heavy metals were conducted in three areas of El Salvador: in Sonsonate, La Libertad and Chalatenango, during the rainy and dry seasons. In sample of water and milk the concentration of lead and arsenic were determined; additionally in water the concentration of calcium, sodium, zinc, iron, carbonates, sulfates and nitrates, temperature, pH, total dissolved solids, turbidity, fecal coliforms, total coliforms and heterotrophic bacteria were measured. The water quality results were compared with the Salvadorian Obligatory Standard for Drinking Water NSO 13.07.01: 08, the concentration of heavy metals in milk was contrasted with data from the CODEX Alimentarius and MERCOSUR Code. All variables were analyzed using test "T" Student ($p \leq 0.05$) InfoStat 2008. The cattle drinking water does not meet the allowable parameters for fecal coliforms, total coliforms, heterotrophic bacteria, differences in the concentration of turbidity, sulfates, iron, arsenic and lead during periods studied were observed; the parameters evaluated in milk are within allowable limits.

It is concluded that the drinking water for livestock in these regions of El Salvador does not meet the microbiological quality stipulated in the Standard, however, does not affect the quality of the milk produced in both dry season and rainy.

Key words: Bovine, water quality, milk, heavy metals, minerals, livestock husbandry.

I. Introducción

En El Salvador, la mayoría de fuentes de aguas superficiales usadas como abrevadero para el ganado, presentan altos índices de contaminación según los últimos estudios realizados en el 2006 por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET). Desde el año 2000 hasta la fecha, estas fuentes de agua cada vez han sido diezmadas en cuanto a su calidad, ya que sobre ellas se descargan grandes volúmenes de desechos orgánicos y con el correr de estos cuerpos de agua río abajo arrastran sedimentos y contaminantes, los cuales incrementan su nivel de contaminación, principalmente de metales pesados que tienden a bioacumularse y generar problemas a la salud humana y animal. Los metales pesados se encuentran en el agua de manera normal en concentraciones bajas, la contaminación de los mantos acuíferos provoca que estos se acumulen hasta llegar a concentraciones nocivas para los seres vivos. Esto resulta alarmante, ya que el agua de los ríos es la fuente principal de abastecimiento para muchos usos: potabilización, industria, ganaderías, recreación, entre otras. Además, estos pueden infiltrarse en el suelo y llegar a contaminar mantos acuíferos (OMS 2006).

La presencia de contaminantes peligrosos se revela solo por medio de pruebas o análisis químicos precisos, para saber en qué condiciones se encuentra la calidad del agua de un río o pozo, para ello se analizan y comparan una serie de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, los cuales son contrastados con normas nacionales o con otros parámetros que son aceptados internacionalmente, que indicarán la calidad del agua para los distintos usos a los cuales se destina (BIOTEC 2004).

Soca *et al.* (2006) realizaron un estudio en la Habana, Cuba, sobre la calidad del agua de fuentes superficiales y pozos usados como abrevaderos en explotaciones ganaderas, ellos llevaron a cabo determinaciones analíticas de amoníaco (NH_3^+), nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-), dureza total, coliformes totales y fecales, sus reportes muestran valores altos para cada uno de estos indicadores.

En un estudio realizado por González *et al.* (2006) sobre la concentración de metales pesados en la leche de diferentes sistemas de producción ganadera influenciadas por actividades

mineras e industriales, obtuvieron concentraciones de mercurio y plomo en la leche, con 0.00071 mg/l y 0.002 mg/l, respectivamente; los cuales estuvieron por debajo de las concentraciones máximas permisibles según normas internacionales.

La mayoría de las ganaderías hacen uso del agua como un recurso vital para satisfacer sus necesidades de abrevaderos, producción de alimentos (pastos bajo riego) o también para la limpieza de los mismos sistemas de ordeño, pero muchas de estas ganaderías no toman en cuenta la calidad del agua de bebida que debe proporcionarse, para ello, esta agua debe de cumplir ciertos parámetros mínimos (físicos, químicos y microbiológicos) que permitan determinar que son aptas para ese fin y que no provoquen alteraciones en quien las consume ni en sus productos o derivados.

Rodríguez (2003), citando un estudio realizado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), menciona que la leche de bovinos que pastorean e ingieren agua a las orillas de lagos y ríos contaminados con desechos industriales y aguas negras que contienen metales pesados como plomo, cadmio, mercurio y zinc, tienen influencia directa sobre la composición y calidad de la leche, por su posible arrastre de metales pesados a las cadenas tróficas, enfatizándose en daños irreversibles a la salud humana, en específico a la salud de la población infantil que consume la leche.

Por otro lado, se considera que la exposición crónica de metales pesados en alimentos que son consumidos, por lo regular se presenta de manera asintomática durante un tiempo prolongado de vida. Algunos metales como el cobre y el zinc, son necesarios en niveles bajos para el funcionamiento normal de los organismos vivos, sin embargo, en concentraciones altas pueden ser muy tóxicos.

Por lo anterior, el objetivo del estudio fué evaluar la calidad física, química, microbiológica, minerales de interés nutricional y metales pesados en el agua de consumo animal y metales pesados en la leche, en sistemas de producción ganadera de tres zonas de El Salvador.

II. Planteamiento del problema

En El Salvador, la mayoría de las aguas superficiales y subterráneas se encuentran con altos niveles de contaminación, principalmente por desechos que se vierten a ellos sin previo tratamiento, los cuales son generados por los crecientes asentamientos urbanos y las industrias.

Dentro de los contaminantes que se encuentran en el agua y que causan daño a la salud humana y animal están los metales pesados, los cuales son sustancias peligrosas aún en bajas concentraciones, con el agravante que su concentración puede incrementarse, ya que estos son acumulables en el suelo y pueden llegar a contaminar mantos acuíferos, que son destinados tanto para consumo de agua de bebida por los animales como para riego de forrajes en la producción ganadera.

Según Rodríguez (2003), cuando los bovinos consumen metales en alta concentración, se afectan sus parámetros productivos y sus productos (leche), repercutiendo en la salud de quién lo consume.

El Salvador cuenta con leyes que protegen la calidad de las aguas, que incentivan a la normalización de los procesos; pero en lo que se refiere al manejo de residuos urbanos e industriales que son vertidos en los cuerpos superficiales, poco se hace al respecto. Por otro lado, se conoce muy poca información sobre la calidad física, química, microbiológica y tipo de fuente de agua tanto superficial o subterránea que se proporciona a los animales en los diferentes sistemas ganaderos, así como también, la calidad de la leche que se produce.

Es por ello, que con esta investigación se evaluó la calidad físico, química y microbiológica, minerales de interés nutricional y metales pesados, en el agua de consumo para ganado, y metales pesados en la leche que se produce en las explotaciones ganaderas de tres zonas de El Salvador (Sonsonate, La Libertad y Chalatenango), durante la época seca y lluviosa del año 2014 y 2015.

III. Objetivos

3.1 Objetivo General

Evaluar la calidad física, química, microbiológica, minerales de interés nutricional y metales pesados, en agua de consumo para ganado y metales pesados en leche, en sistemas de producción bovina de tres zonas de El Salvador durante la época seca y lluviosa.

3.2 Objetivos Específicos

- Determinar la concentración de metales pesados (plomo, arsénico y cobre) en el agua de consumo para el ganado y en la leche de tres zonas del país durante la época seca y lluviosa.
- Determinar minerales de interés nutricional (Calcio, Sodio, Hierro, Potasio, Magnesio y Zinc) en el agua de consumo para ganado bovino en tres zonas del país.
- Medir los parámetros de la calidad física, química y microbiológica del agua de consumo para bovinos y compararlos con los parámetros de la Norma Salvadoreña Obligatoria del Agua Potable (NSO 13.07.01:08) en diferentes sistemas de explotaciones ganaderas.
- Comparar el efecto de las zonas geográficas y de las épocas del año sobre las determinaciones físico, químico, microbiológica y metales pesados en agua y leche.

IV. Hipótesis

Las aguas para consumo del ganado lechero en El Salvador, se encuentran contaminadas por sustancias químicas y microbiológicas, las cuales exceden a los parámetros de referencia.

V. Marco Teórico Conceptual

5.1 Los Recursos Naturales

Según Tyler (1994), los recursos naturales es cualquier cosa que obtenemos del ambiente vivo y del no vivo, para satisfacer nuestras necesidades y deseos, estos recursos pueden ser clasificados como tangibles (materiales) o intangibles (no materiales). Un recurso material o tangible es aquel cuya cantidad puede medirse y su abastecimiento es limitado, ejemplo de estos: el petróleo, el hierro, el agua, entre otros. Un recurso no material o intangible es aquel cuya cantidad no puede ser medida, son ejemplos de ellos: el conocimiento, la alegría, otros.

5.2 El agua

El agua es la biomolécula más abundante, constituyendo de un 60 a un 90% de las células vivientes o tejidos en el animal. Debido a sus características físico-químicas que posee y a su habilidad para formar puentes de hidrógeno es esencial para el sistema de la vida (Horton *et al.* 1995).

Según Charlón *et al.* (2011) el agua constituye la mayor parte del peso de los vegetales y animales, y es indispensable para la vida. Las funciones orgánicas del agua son múltiples: digestión, absorción y metabolismo, transporte de nutrientes y otras sustancias entre tejidos, eliminación de productos de desecho, ambiente fluido para el feto, producción de leche, regulación de la temperatura corporal, otros.

Los animales utilizan el agua para su nutrición y crecimiento, y la obtienen de tres fuentes: la contenida en el alimento, la que se produce durante el proceso de asimilación de los mismos y el agua de bebida.

Tyler (1994) manifiesta que las fuentes de agua pueden ser de dos tipos, el agua superficial (agua pura de corrientes de ríos y lagos) y el agua freática o agua subterránea.

5.2.1 Agua superficial

Se define como el agua de precipitación que no se infiltra en el suelo o no regresa a la atmósfera por evaporación o por transpiración (Tyler 1994). Entre las principales fuentes de agua superficiales permanentes se pueden mencionar: ríos, lagos, pantanos y lagunas (Basan 2006).

Según Cánepa *et al.* (2004) la contaminación de los recursos hídricos superficiales es un problema cada vez más grave, debido a que estos se usan como destino final de residuos domésticos e industriales, sobre todo en las áreas urbanas e incluso en numerosas ciudades importantes del continente. Estas descargas son las principales responsables de la alteración de la calidad de las aguas naturales, que en algunos casos llegan a estar tan contaminadas que su potabilización resulta muy difícil y costosa.

5.2.2 Agua subterránea

Se define como el agua que se infiltra en el suelo y se acumula en depósitos subterráneos que fluyen y se renuevan con lentitud, conocidos como mantos freáticos o acuíferos (Tyler 1994).

5.3 Calidad del agua

La calidad del agua se refiere a las propiedades físicas, químicas, biológicas y organolépticas del agua, para satisfacer los requerimientos de un determinado uso, de ahí, que el término monitoreo de la calidad del agua se refiere a la verificación de dichas características en el tiempo y espacio, ya sea para evaluar el cumplimiento de normas, analizar tendencias o caracterizar la situación en un determinado momento, tramo o sección del curso del agua superficial a evaluar. El grado de calidad del agua depende de la interacción entre la intensidad de uso de las aguas con la cantidad disponible de las mismas (SNET 2006).

La contaminación disminuye significativamente la disponibilidad del agua para los diferentes usos que se le atribuyen. Los vertidos residuales domésticos e industriales, la disposición inadecuada de desechos sólidos en diversos territorios del país y la aplicación desmesurada de agroquímicos en la agricultura, son fuentes permanentes de contaminación del agua (Rubio 1994).

En el área pecuaria, el agua es utilizada para diferentes fines: para consumo de animales, limpieza de instalaciones, entre otros aspectos. Según Basan (2006) las fuentes de agua para los animales son los arroyos, lagos, ríos, charcos, lagunas, estanques, pozos, otras, de las cuales las más utilizadas son las fuentes subterráneas (pozos); éstas pueden contener un déficit o exceso de sales minerales disueltas y su resistencia a ello dependerá de la especie animal, edad, sexo, tipo de alimento, otros. Por otro lado, éstas fuentes de agua subterráneas pueden

contener elementos inorgánicos como hierro, manganeso y arsénico, por lo que se recomienda realizar una caracterización físico química de las aguas para conocer si la calidad que presenta es adecuada para el fin en el cual se utilizará (Hernández *et al.* 2005).

Además, el agua en los sistemas de ordeño se utiliza como vehículo de dilución para los detergentes, limpieza y desinfección del equipo de ordeño y de frío, vital para obtener leche de calidad. La dureza del agua disminuye la efectividad de los detergentes, ya que, las aguas duras y con alta concentración de sólidos totales disueltos (STD), corroen los caños e instalaciones, disminuyendo la vida útil de las mismas (Lagger *et al.* 2000).

5.4 Calidad del agua de los ríos de El Salvador

La gran mayoría de los cuerpos de agua que componen las diferentes cuencas de El Salvador se encuentran contaminados, debido a la creciente población que invade las riberas de los ríos y a la gran cantidad de vertidos que son descargados sobre estos cuerpos sin ningún tratamiento previo, lo cual reduce la capacidad biológica de los ríos de depurarse a sí mismos por la baja oxigenación que ellos mismos generan en el correr de su trayecto hacia las partes bajas, reduciéndose la calidad y la disponibilidad de este recurso (SNET 2006, citado por Bonilla *et al.* 2010).

Esta contaminación de los cuerpos superficiales puede ser clasificada como puntual y no puntual, lo primero se refiere a la descarga directa de vertidos industriales o domésticos a los ríos, mientras que la contaminación no puntual se origina por diferentes fuentes a lo largo del cauce del río, tales como la erosión del suelo, el arrastre de fertilizantes y plaguicidas movilizados por la lluvia. Por otro lado, es importante mencionar que muchos de estos compuestos que son vertidos a dichos cuerpos contienen en su composición original metales pesados, que no desaparecen de los ambientes acuáticos sino que cambian de lugar, acumulándose en el fondo de los ríos e incorporándose a las plantas y a las cadenas tróficas, produciendo a mediano y largo plazo enfermedades en la población como también de los animales que consumen agua de esas fuentes (Dajoz 2001).

Estudios realizados por BIOTEC (2004) para establecer las principales causas de contaminación de los cuerpos receptores en 17 municipios de El Salvador, reportó que las principales causas de contaminación en esos municipios son: descargas de aguas residuales

ordinarias crudas, lixiviados de botaderos a cielo abierto, técnicas inadecuadas de manejo del suelo, ganaderías extensivas, uso irracional de agroquímicos, pesca con explosivos, entre otras actividades.

Los resultados de la calidad sanitaria del agua superficial de 114 puntos evaluados a nivel nacional en el 2006-2007 por el SNET, reportan que el 60% de los sitios de muestreo poseen agua de calidad sanitaria “mala”, este resultado equivale a 68 sitios de muestreo de las regiones hidrográficas del país; el 15% de los sitios de muestreo (equivalente a 17 sitios) poseen calidad sanitaria “regular”; y el 25% de los sitios presentan calidad sanitaria “pésima”. Ningún sitio de muestreo de los ríos de El Salvador reporta calidad excelente, tampoco se identifica que sean de calidad buena. Además, en este mismo estudio se reportó que muchos de los ríos que se evaluaron de las diferentes regiones hidrográficas del país presentaban contaminación por metales pesados, sobrepasando los límites máximos permitidos, encontrándose Arsénico (As) en el 55% de las muestras recolectadas, mientras que el Plomo (Pb) se encontró en un 28.3% de las muestras (SNET 2004).

Un estudio realizado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) en el 2010, compara los resultados obtenidos de 124 puntos de muestreo para un período de 4 años, entre 2006 al 2009, mencionándose que el Índice de Calidad del Agua (ICA) obtenida como “buena”, se redujo del 17% a 0%, lo cual indica una tendencia progresiva hacia el deterioro de la calidad ambiental del agua de los ríos.

Por otro lado, los caudales de los ríos se ven drásticamente reducidos en la época seca, situación que se agrava debido a la deforestación de las zonas de recarga de las regiones hidrográficas y a la pérdida de zonas de vida, esta reducción de los caudales limita la capacidad de los mismos para depurar los vertidos, la velocidad de reoxigenación de los cauces es lenta y no se logran oxidar los contaminantes que son vertidos sobre estos. Esto ha venido afectando la calidad y la disponibilidad de uso del agua para las diferentes actividades relacionadas a la agricultura y la ganadería (BIOTEC 2004).

5.5 Índice de Calidad del Agua (ICA)

El Índice de Calidad del Agua (ICA) indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo, y está expresado como porcentaje del agua pura, así, el agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero por ciento, en tanto que el agua en excelentes condiciones el valor del índice será cercano a 100%. Este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes, fue diseñado en 1970, y puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, compara la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río, además, de compararlo con la calidad del agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no (SNET, citado por Bonilla *et al.* 2010).

Investigaciones realizadas por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET 2006) establecieron las metodologías y parámetros para determinar la calidad de las aguas de diferentes cuerpos receptores de El Salvador, la cual se conoce como Índice de Calidad del Agua (ICA), la cual está conformada por 9 parámetros entre físicos, químicos y microbiológicos: coliformes fecales, pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Nitratos (NO₃⁻), Fosfatos (PO₄⁻²), Temperatura (T°), Turbidez, Sólidos Totales Disueltos (STD) y Oxígeno Disuelto (OD).

5.5.1 Parámetros de calidad del agua

En el agua se evalúan una serie de parámetros físicos, químicos y microbiológicos, para determinar la calidad y su uso, entre otros.

Según Vidaurreta (2012) la calidad del agua es un factor que influye de manera significativa sobre la salud y la producción. Para los seres humanos y los rumiantes, los criterios que definen la calidad del agua son similares y los principales parámetros son: características organolépticas (olor y sabor), características físico químicas (pH, sales totales, dureza), presencia de sustancias químicas (nitratos, sulfatos, sodio, minerales en general), minerales en exceso, compuestos tóxicos (arsénico, fosforados, otros.) y de microorganismos (bacterias y parásitos).

5.5.1.1 Parámetros físicos

Dadas las propiedades físicas del agua, ésta se comporta como un magnífico disolvente de diferentes sustancias, ya sean de naturaleza polar o apolar, de forma que podemos encontrarnos en su seno una gran cantidad de sustancias sólidas, líquidas y gaseosas diferentes que modifican sus propiedades (Aznar 2000), entre estos parámetros podemos mencionar:

- **Temperatura**

Es un parámetro importante en la vida de los cuerpos de agua, pues la existencia de la biota depende directamente de la temperatura. Si la temperatura aumenta, se aceleran las reacciones que envuelven la disolución de sólidos pero decrece la solubilidad de los gases, por lo que no se oxidan los elementos orgánicos; además, la temperatura siempre se determina *in situ*, para definir el perfil térmico de la masa de agua (Andreu y Camacho 2002).

La temperatura influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración (SNET 2006).

Roldán (2003) en su trabajo de bioindicación de la calidad del agua, manifiesta que la solubilidad del oxígeno en el agua está afectada por la temperatura, ya que a mayor temperatura menor solubilidad y viceversa, donde un cuerpo de agua puede aumentar la solubilidad alrededor de un 40% al bajar la temperatura de 25° C a 0° C, esto se debe a que en el agua fría las moléculas se unen más, reteniendo por tanto mayor cantidad de oxígeno.

- **Turbidez**

La turbidez es originada por las partículas en suspensión o coloides (arcillas, limo, tierra finamente dividida, otras). Además, la turbidez forma los sistemas coloidales, es decir, aquellas que por su tamaño se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado (Hernández *et al.* 2005).

La medición de la turbidez se realiza mediante un turbidímetro o nefelómetro. Las unidades utilizadas son por lo general Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT). Otras unidades

que se pueden mencionar son las Unidades de Atenuación de Formacida (FAU) (SNET, citado por Bonilla *et al.* 2010).

En consumo animal y humano, los niveles máximos de turbidez aceptados en la Norma Salvadoreña Obligatoria del Agua Potable (NSO13.07.01:08) es de 5 FAU (CONACYT 2009).

5.5.1.2 Parámetros Químicos

- **pH**

Este parámetro es de gran importancia en la química del agua, pues determina el estado de disociación en el que se encuentran muchos compuestos, condicionando también la vida de los organismos acuáticos. Existen diversos procedimientos de medida, uno de ellos es el pHmetro, la medida se realiza mediante el uso de dos electrodos, uno de pH y uno de referencia, aunque actualmente casi todos los equipos incorporan un electrodo combinado acoplado a un medidor del potencial, creado al penetrar los protones en el electrodo y dando así directamente la lectura. El electrodo se agita suavemente durante la medida hasta que la lectura se estabiliza, tomándose entonces el valor (Aznar 2000 y Andreu y Camacho 2002).

En Canadá se recomienda como valor guía para agua de bebida un rango de 6.5 a 8.5 para el pH (CWQG 1987).

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)**

La DBO₅ corresponde a la cantidad de oxígeno necesario para descomponer la materia orgánica por acción bioquímica aerobia. Se expresa en mg/l, ésta demanda es ejercida por las sustancias carbonadas, nitrogenadas y ciertos compuestos químicos reductores (SNET, citado por Bonilla *et al.* 2010).

La DBO₅ se determina midiendo el proceso de reducción del oxígeno disuelto en la muestra de agua, manteniendo la temperatura a 20° C en un periodo de 5 días. Una DBO₅ grande indica que se requiere una gran cantidad de oxígeno para descomponer la materia orgánica contenida en el agua. El agua potable tiene una DBO₅ de 0.75 a 1.5 mg/l de oxígeno, y se considera que el agua está contaminada si la DBO₅ es mayor de 5 mg/l (CONAGUA 2006).

- **Sólidos Totales Disueltos (STD)**

Este parámetro describe la cantidad total de sólidos disueltos en el agua y está estrechamente relacionada con la conductividad eléctrica. Cuanto mayor sea la cantidad de sales disueltas en el agua, mayor será el valor de la conductividad eléctrica. La mayoría de sólidos que permanecen en el agua tras una filtración de arena son iones disueltos. El cloruro de sodio por ejemplo, se encuentra en el agua como Na^+ y Cl^- . El agua de alta pureza, que en el caso ideal contiene solo H_2O sin sales o minerales, tiene una conductividad eléctrica muy baja. El promedio de sólidos totales disueltos (STD) para los ríos de todo el mundo ha sido estimado en alrededor de 120 ppm (Quinteros 2006).

Los sólidos totales disueltos (STD) es la suma de los sólidos sedimentables (SD), sólidos en suspensión (SS) y sólidos disueltos. Estos sólidos, además de suponer la presencia de cuerpos o sustancias extrañas que pudieran en algún caso no ser recomendables, aumentan la turbidez del agua y disminuyen la calidad de la misma (SNET, citado por Bonilla *et al.* 2010).

Los sólidos totales disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua o un afluente de varias formas: aguas para el consumo humano con un alto contenido de sólidos disueltos, son por lo general de mal agrado para el paladar y pueden inducir una reacción fisiológica adversa en el consumidor. Por esta razón se ha establecido un límite de 500 ppm de sólidos disueltos para agua de consumo (OPS 2008).

- **Contenido de Nitratos (NO_3^-) y Nitritos (NO_2^-) en el Agua**

El nitrógeno es un nutriente importante para el desarrollo de animales y plantas acuáticas. Por lo general, en el agua se le encuentra formando amoníaco, nitratos y nitritos. Si un recurso hídrico recibe descargas de aguas residuales domésticas, el nitrógeno estará presente como nitrógeno orgánico amoniacal, el cual, en contacto con el oxígeno disuelto, se irá transformando por oxidación en nitritos y nitratos (SNET, citado por Bonilla *et al.* 2010).

El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados, incluyendo el amoníaco, y la contaminación causada por la acumulación de excretas humanas y animales, pueden contribuir a elevar la concentración de nitratos en el agua. Generalmente, los nitratos son solubles, por lo tanto, pueden movilizarse con facilidad en los sedimentos, por las aguas superficiales y subterráneas. (CONAGUA 2006).

Los nitratos y nitritos son elementos que tienen mucha importancia dado que pueden originar una intoxicación, tanto en animales como en seres humanos, por impedir el transporte de oxígeno en la sangre. Los nitratos no son un componente natural del agua, por el contrario, su presencia supone algún tipo de contaminación con materia orgánica. En algunos casos ésta contaminación obedece a un alto nivel de carga bacteriológica sobre todo bacterias tipo "coli". Si los acuíferos son someros, esta contaminación puede deberse a la infiltración de aguas que provengan de terrenos muy fértiles o fertilizados, de agua de limpieza de las instalaciones, agua de charcos o lagunas presentes en áreas donde hay mucha concentración de animales (corrales). También es probable que la presencia de los mismos no se origine en una fuente de contaminación subterránea, sino por falta de limpieza de los elementos que componen el sistema de distribución (Charlón *et al.* 2011).

Los niveles máximos permitidos de Nitratos en el agua de consumo para animales como para humanos es la misma concentración con 45 mg/l (CONACYT 2007).

- **Contenido de Fosfatos (PO_4^{3-})**

Las especies químicas de fósforo más comunes en el agua son los ortofosfatos, los fosfatos condensados (piro-, meta- y polifosfatos) y los fosfatos orgánicos. Estos fosfatos pueden estar solubles como partículas de detritus o en los cuerpos de los organismos acuáticos. Es común encontrar fosfatos en el agua, son nutrientes de la vida acuática y limitantes del crecimiento de las plantas; sin embargo, su presencia está asociada con la eutrofización de las aguas, con problemas de crecimiento de algas indeseables en embalses y lagos, con acumulación de sedimentos, otras (SNET, citado por Bonilla *et al.* 2010).

La presencia de fosfatos en aguas naturales es el resultado de la contaminación con detergentes, aunque también con estiércol y heces, su valor deberá de ser menor a 0.1 ppm como Fósforo total para agua potable (CONACYT 2007).

- **Oxígeno Disuelto**

El oxígeno disuelto (OD) es el oxígeno que se encuentra libremente en el agua, es un gas muy relevante en dinámicas de aguas, su solubilidad depende de varios factores como: temperatura, presión, coeficiente de solubilidad, tensión de vapor del gas, salinidad y composición fisicoquímica del agua. Su presencia es esencial en el agua, proviene principalmente del aire.

Niveles bajos o ausencia de oxígeno en el agua puede indicar contaminación elevada, condiciones sépticas de materia orgánica o una actividad bacteriana intensa; por ello, se le puede considerar como un indicador de contaminación. (Cánepa de Vargas *et al.* 2004).

La presencia de oxígeno disuelto en el agua cruda depende de la temperatura, la presión y la mineralización del agua. La ley de Henry y Dalton dice: “La solubilidad de un gas en un líquido es directamente proporcional a la presión parcial e inversamente proporcional a la temperatura”. El agua destilada es capaz de disolver más oxígeno que el agua cruda (SNET 2006, citado por Bonilla *et al.* 2010).

Según Cánepa de Vargas *et al.* (2004) las aguas superficiales no contaminadas, si son corrientes, suelen estar saturadas de oxígeno y a veces incluso sobresaturadas; su contenido depende de la aireación, de las plantas verdes presentes en el agua, de la temperatura y de la hora del día (mañana o tarde), durante el verano el caudal de un río disminuye, por lo que también lo hace la cantidad total de oxígeno disponible y, por lo tanto, el consumo de este por los seres vivos acuáticos aumenta por unidad de volumen. Por eso, no es extraño que haya grandes diferencias entre el verano y el invierno en lo que se refiere al OD. Igualmente ocurre que este contenido varía del día a la noche, ya que los seres vivos consumen oxígeno para la respiración las 24 horas del día; sin embargo, la fotosíntesis solo se realiza con el concurso de la luz solar.

Existen variaciones en cuanto a los valores ideales de OD dentro de un cuerpo receptor, pero según los datos reportados por la EPA (2006), la concentración máxima admisible de oxígeno disuelto para la vida acuática es de 3 mg/l.

5.5.1.3 Otros parámetros químicos que determinan la calidad del agua

- **Dureza como Carbonatos (CaCO_3)**

El agua con una dureza mayor de 200 mg/l, en función de la interacción de otros factores como el pH y la alcalinidad, puede provocar la formación de incrustaciones en las instalaciones de tratamiento, el sistema de distribución y, en las tuberías y depósitos de los

edificios. Las aguas duras al calentarlas forman precipitados de carbonato cálcico. Por otra parte, las aguas blandas con una dureza menor de 100 mg/l, pueden tener una capacidad baja de amortiguación del pH y ser, por lo tanto, más corrosivas para las tuberías. No se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para la dureza del agua de consumo (OMS 2006).

Generalmente se considera la suma de Calcio y Magnesio expresados como equivalente de Carbonato de Calcio (CaCO_3) en partes por millón (ppm). Cuando el agua contiene menos de 100 ppm de CaCO_3 es agua blanda, menos de 270 ppm es semidura, menos de 360 ppm es dura y por encima de 470 ppm es muy dura (Lagger *et al.* 2000).

- **Sulfatos (SO_4^{2-})**

El sulfato es uno de los iones que contribuye a la salinidad de las aguas, encontrándose en la mayoría de aguas naturales. El origen de los sulfatos se debe a la disolución de los yesos, dependiendo la concentración de los terrenos drenados, ya que es un compuesto estable y resistente a la reducción. Aunque en agua pura se satura a 1,500 ppm, como sulfato de calcio, la presencia de otras sales aumenta su solubilidad. Además, tiende a formar sales con los metales pesados disueltos en el agua, en consecuencia la solubilidad de las sales es muy bajo, contribuye muy eficazmente a disminuir su toxicidad. Un incremento de los sulfatos presentes en el medio hídrico es indicador de un vertido próximo (Bonilla *et al.* 2010).

Los sulfatos son más dañinos que los cloruros. La forma más común de sulfatos presentes en el agua son las sales de calcio, hierro, magnesio y sodio. Estos le otorgan un gusto amargo y un efecto laxante, el cual es mayor para el caso del sulfato de sodio y de magnesio (Lagger *et al.* 2000), permitiéndose una concentración máxima de sulfatos en el agua de consumo de 400 mg/l según la Norma Obligatoria de Agua Potable 13.07.01:08 (CONACYT 2007).

- **Minerales y Metales pesados**

En el agua se encuentran disueltos la mayoría de nutrientes o minerales que los seres vivos necesitan para desarrollar las diferentes funciones fisiológicas, además, forman parte de un gran porcentaje del cuerpo. Así, es requerida para procesos como el transporte, digestión y metabolismo de nutrientes, la eliminación de los productos de desecho y del calor, el mantenimiento del balance de iones y fluidos, y la provisión de un medio acuoso para el

desarrollo fetal. El agua además cumple una importante función al ser fuente de minerales como calcio, sodio, magnesio y azufre, entre otros (Vidaurreta 2012).

Además, se consideran otros parámetros a evaluar para determinar la calidad misma de un cuerpo receptor o una fuente puntual de agua, como son los metales pesados: Plomo, Arsénico, Cobre, Manganeso, Hierro, de los cuales deben de existir niveles máximos permisibles para que pueda ser considerada para el consumo o para las diferentes actividades de los sectores agrícolas que demanden de este recurso (CONAGUA, 2006).

5.5.1.4 Parámetros Microbiológicos.

Los microorganismos más importantes que se pueden encontrar en las aguas son bacterias, virus, hongos, protozoos y distintos tipos de algas, entre estos se pueden mencionar:

- **Coliformes totales**

Las coliformes totales incluyen una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gran negativos y no esporulantes, capaces de proliferar en presencia de concentraciones relativamente altas de sales biliares, fermentando la lactosa y produciendo ácido o aldehído en 24 horas a 35° – 37° C. *Escherichia coli* y los coliformes termolatentes son un subgrupo del grupo de los coliformes totales que pueden fermentar la lactosa a temperaturas más altas. Las bacterias pertenecientes al grupo de los coliformes totales (excluida E. Coli) están presentes tanto en aguas residuales como en aguas naturales. Algunas de estas bacterias se excretan en las heces de las personas y animales, pero muchos coliformes son heterótrofos y capaces de multiplicarse en suelos y medios acuáticos. Los coliformes totales pueden también sobrevivir y proliferar en sistemas de distribución de agua, sobretodo en presencia de biopelículas (OMS 2006).

- **Coliformes fecales**

Es un indicador biológico de la descarga de materia orgánica. Su presencia es evidencia de contaminación fecal, los cuales tienen su origen en las excretas de animales de sangre caliente. La mayoría de estos organismos son anaeróbicos y facultativos, pero otros dependen del oxígeno disuelto para realizar procesos metabólicos. Aunque no es posible distinguir entre coliformes de origen humano o animal, existen ensayos para diferenciar entre coliformes

totales, que incluyen los de animales y suelo, y coliformes fecales, que incluyen únicamente los humanos (SNET, citado por Bonilla *et al.* 2010).

Generalmente se emplea un grupo de bacterias como *Escherichia coli*, Estreptococos fecales, Clostridios (anaerobios y formadores de esporas), estos son indicadores de contaminación, en todo el mundo se acepta la ausencia de estas bacterias en el agua, se supone que cuando no están presentes el agua es potable. La medición se hace empleando técnicas estadísticas “número más probable” (Índice NMP) en 100 ml de agua. Las aguas con un NMP inferior a 1 son satisfactoriamente potables (WPCF, APHA, AWWA 1992).

5.5.2 Clasificación del agua según su uso

- **Uso recreativo**

El agua para uso recreativo es aquella que se utiliza cuando la concentración de los contaminantes reduce el valor estético del agua, más aún cuando exista la posibilidad de causar un daño a la salud, esta contaminación puede ser aparente cuando las aguas contienen desechos que la tornan desagradable a la vista, o estar oculta, cuando no se aprecia a simple vista pero se sabe que contiene elementos peligrosos para la salud, químicos o bacteriológicos (Ramos 2002).

Para que el agua tenga un valor estético, ésta debe estar libre de sustancias ajenas (basura, espuma), malos olores y exceso de vegetación acuática. Ser adecuada al menos para lo que se llama un contacto secundario, esto es, que puedan realizarse con ella actividades que no signifiquen un riesgo alto de ingestión: pescar, mojarse los pies. El criterio establecido dicta que las especies marinas que se extraigan de ella deben ser adecuadas para el consumo humano y que además haya un límite máximo de microorganismos de 400 bacterias Coliformes fecales por 100 mililitros de agua (Ramos 2002).

- **Uso Industrial**

El agua es utilizada por la industria de diferentes maneras: para limpiar, calentar y enfriar; para generar vapor; transportar sustancias o partículas disueltas; como materia prima; disolvente; y como parte constitutiva del propio producto (por ejemplo, industria de bebidas).

Además, muchos de los procesos industriales generan una gran cantidad de calor que es necesario eliminar para proteger los productos que se manufacturan. El agua, con su gran capacidad calorífica, es un refrigerante ideal, fácilmente accesible y barato (CONAGUA 2006).

- **Uso Agropecuario**

El agua que se emplea en el campo en la producción de buenas cosechas y como bebida del ganado debe ser de tal calidad que no provoque daño ó enfermedades. Aparte de las lluvias, en el campo las tres cuartas partes del abastecimiento del agua proviene de corrientes y la otra cuarta parte de pozos, por lo que las personas para hacer un mejor uso del recurso, han construido presas y sistemas de distribución, así es posible establecer un proceso productivo continuo a lo largo del año sin depender exclusivamente de las lluvias de temporal (FAO, 1993).

Es de conocimiento de los agricultores, que el contenido de sales en proporciones elevadas afecta a las plantas y a los animales. La salinidad afecta el crecimiento de las cosechas y el desarrollo del ganado, pues en grado excesivo los envenena. Cada tipo de planta y de animal tiene un grado de tolerancia, aunque el de las plantas es de hasta 5,000 miligramos por litro (mg/l) y para los animales de 10,000 mg/l (Rojas 1991).

- **Uso para abastecimiento humano**

Las autoridades sanitarias de todo el mundo cuidan que el tratamiento de las aguas para abastecimiento público pase por diferentes procesos de limpieza que aseguren un consumo seguro. Al respecto se han establecido parámetros que deben vigilarse, entre ellos: color, olor (relacionada con estos parámetros está la turbidez o medida de la cantidad de partículas sólidas disueltas), temperatura, organismos Coliformes y Coliformes fecales, alcalinidad, metales pesados (arsénico, bario, cadmio, cobre, hierro, plomo y mercurio, entre otros), la dureza y el oxígeno disuelto (Fernández *et al.* 2006).

El agua destinada al consumo humano deberá ser saludable y limpia (cuadro 1). En la actualidad menos de las dos terceras partes del agua destinada a consumo humano proceden de aguas continentales superficiales (ríos, arroyos, embalses, lagos o lagunas).

Cuadro 1. Clasificación del agua para consumo humano.

Tipo	Clasificación
A1	Aguas potabilizables con un tratamiento físico simple como filtración rápida y desinfección.
A2	Aguas potabilizables con un tratamiento físico-químico normal, como pre cloración, floculación, decantación, filtración y desinfección.
A3	Aguas potabilizables con un tratamiento adicional a la A2, tales como ozonización o carbón activo.
A4	Aguas no utilizables para el suministro de agua potable, salvo casos excepcionales, y con un tratamiento intensivo.

Fuente: Echarri (2007).

5.5.3 Contaminantes del agua

Los posibles contaminantes de las fuentes de aguas superficiales o subterráneas pueden ser clasificadas desde dos puntos de vista: la natural y la antropogénica (humana). La contaminación natural es mínima y se refiere a aquellos componentes que están localizados en la corteza terrestre y que resultan dañinos para la vida. Normalmente, las fuentes de contaminación natural no provocan concentraciones altas de contaminantes. En cambio, la contaminación antropogénica es más peligrosa que la natural (Dajoz 2001).

Las características químicas y físicas del agua subterránea pueden modificarse por causas naturales, propias de los acuíferos como por factores externos, generalmente antrópicos (agropecuarios, urbanos, industriales). Cuando esta modificación empeora la calidad del agua se considera contaminación (Parra y Martínez 2008).

5.5.3.1 Contaminantes naturales

Algunas fuentes de contaminación del agua son naturales, por ejemplo, el mercurio que se encuentra naturalmente en la corteza de la Tierra y en los océanos, contamina la biosfera mucho más que el procedente de la actividad humana. Algunos de estos elementos al encontrarse en elevadas concentraciones en la corteza terrestre, incrementan los niveles máximos permisibles en el agua, volviéndola inadecuada para consumo de los seres vivos. (Ciencia de la tierra y medio ambiente 2013).

Las fuentes de contaminación natural son muy dispersas y no provocan concentraciones altas de polución, excepto en algunos lugares muy concretos (Parra y Martínez 2008).

5.5.3.2 Contaminantes Antropogénicos

Se consideran contaminantes antropogénicos aquellos generados por el ser humano, estos se concentran en zonas determinadas, convirtiéndolos en los productores de contaminantes más peligrosos. Los focos de contaminación antropogénica más importantes son:

- **Vertidos por asentamientos humanos**

Los residuos urbanos que se descargan al agua en su mayoría son jabones, materia orgánica y productos de limpieza (provenientes de las viviendas), así como gasolina y productos químicos (provenientes de las vías públicas). La actividad doméstica produce principalmente residuos orgánicos, pero el alcantarillado arrastra además todo tipo de sustancias: emisiones de los automóviles (hidrocarburos, plomo, metales), sales, ácidos (López 1987).

- **Navegación**

Produce diferentes tipos de contaminación, especialmente hidrocarburos que son derramados a los cuerpos receptores de manera consiente e inconsciente; es decir, los derrames petroleros accidentales, así como el uso de gasolinas, aceites y pinturas, que dañan a los ecosistemas acuáticos, como ríos y lagos (Ciencia de la tierra y medio ambiente 2013).

- **Desechos industriales**

Se refiere a todos los residuos generados por las industrias, que son depositados en diferentes mantos acuíferos. En los países desarrollados muchas industrias poseen eficaces sistemas de depuración de aguas, sobre todo las que producen contaminantes más peligrosos, como metales tóxicos. En algunos países en vías de desarrollo la contaminación del agua por residuos industriales es muy importante. (Parra y Martínez 2008).

- **Productos de la agricultura**

Los trabajos agrícolas producen vertidos de pesticidas, fertilizantes y restos orgánicos de animales y plantas que contaminan de una forma difusa pero muy notable las aguas. La

mayoría de los vertidos directos a los cuerpos de agua sin ningún tratamiento son responsabilidad de las ganaderías. Se llama directos a los vertidos que no se hacen a través de redes urbanas de saneamiento, y por lo tanto, son más difíciles de controlar y depurar (Ciencia de la tierra y medio ambiente 2013).

La contaminación de los suelos afecta principalmente a las zonas rurales agrícolas y es una consecuencia de la expansión de ciertas técnicas agrícolas. El uso indiscriminado de fertilizantes químicos provoca la contaminación del suelo, aire y agua. Además, los fosfatos y nitratos son arrastrados por las aguas superficiales a los lagos y ríos donde producen eutrofización y también contaminan las corrientes freáticas. Los pesticidas tanto de origen mineral como orgánico al utilizarse en los cultivos contaminan al suelo y la biomasa, así como también, la lluvia conocida como lluvia acida, que arrastra diversos metales pesados como: plomo, cadmio, mercurio y molibdeno, así como sulfatos y nitratos (FAO 1993).

5.5.4 Clasificación de las sustancias contaminantes

a) Contaminantes Físicos

Corresponden a todos los materiales suspendidos en el agua, los cuales han sido arrancados del suelo y arrastrados a las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión, son en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua (Echarri 2007).

Los sedimentos afectan el aspecto del agua y cuando flotan o se sedimentan interfieren con la flora y fauna acuáticas. Son líquidos insolubles, sólidos de origen natural y diversos productos sintéticos, que son arrojados al agua como resultado de las actividades de los humanos, como: basura o desechos sólidos, espumas, residuos oleaginosos (Ramos 2002).

b) Contaminantes Químicos

Estos pueden ser de varios tipos:

- **Contaminantes Orgánicos**

Echarri (2007) en su publicación de la clasificación de los contaminantes del agua, considera que ciertas moléculas orgánicas como: petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes,

detergentes, entre otras sustancias, son los causantes de la degradación irreversible del agua, las cuales permanecen, en algunos casos, largos períodos de tiempo, porque, al ser productos fabricados por los humanos, tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos.

Manahan (2007) describe que los contaminantes orgánicos son compuestos disueltos o dispersos en el agua que provienen de desechos domésticos, agrícolas, industriales y de la erosión del suelo. Son desechos humanos y animales, de rastros o mataderos, de procesamiento de alimentos para humanos y animales, diversos productos químicos industriales de origen natural como aceites, grasas, breas y tinturas. Los contaminantes orgánicos consumen el oxígeno disuelto en el agua y afectan la vida acuática. Las concentraciones anormales de compuestos de nitrógeno en el agua, tales como el amoníaco o los cloruros, se utilizan como índice de la presencia de dichas impurezas contaminantes en el agua.

Por otro lado, los detergentes son unos de los peores enemigos del agua, pues en su estructura química contienen compuestos que no se degradan fácilmente. Los fosfatos que los forman generan verdaderas montañas de espuma que interfieren seriamente con la vida acuática, arruinan el valor estético de los cuerpos de agua y son un verdadero problema en los sistemas de tratamiento para su purificación (SNET 2006, citado por Bonilla *et al.* 2010).

- **Contaminantes Inorgánicos**

Los contaminantes inorgánicos son diversos productos disueltos o dispersos en el agua que provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales, o de la erosión del suelo. Los principales son cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos. También desechos ácidos, alcalinos y gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico) (Prieto 2004).

Gran parte de estos contaminantes son liberados directamente a la atmósfera y bajan arrastrados por la lluvia. La alcalinidad del agua se debe a los bicarbonatos, carbonatos y otros

iones en ella disueltos. La alta concentración causa corrosión e incrustaciones, dentro de los límites tolerables puede eliminarse por coagulación (Ramos 2002).

El contenido aceptable de estas especies químicas debe ser menos de 30 mg/l. El amoníaco puede reaccionar con el cloro que se añade para desinfectar el agua y reduce por lo mismo su eficiencia, además, indica la probable contaminación por descargas de drenaje en la fuente de agua (Echarri 2007).

- **Contaminantes Biológicos**

Incluyen hongos, bacterias, virus y algunas algas o plantas acuáticas que provocan enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, entre otras enfermedades. Algunas bacterias son inofensivas y otras participan en la degradación de la materia orgánica contenida en el agua. Ciertas bacterias descomponen sustancias inorgánicas (OMS 2006, citado por Echarri 2007).

- **Contaminantes provenientes de Agroquímicos**

Los agroquímicos son las sustancias químicas utilizadas en la agricultura como insecticidas, herbicidas y fertilizantes. Tienden a permanecer en el agua, contaminando las capas subterráneas, ríos y lagos, así como los propios alimentos (Prieto 2004).

Los fertilizantes químicos aumentan el rendimiento de las tierras de cultivo, pero su uso repetido conduce a la contaminación de los suelos, aire y agua. Además, los fosfatos y nitratos son arrastrados por las aguas superficiales a los lagos y ríos donde producen eutrofización y también contaminan las corrientes freáticas (Manahan 2007).

- **Contaminantes por metales pesados**

Los metales pesados: arsénico, bario, cadmio, cobre, hierro, plomo, mercurio, entre otros; son extremadamente venenosos y por desgracia poco puede hacerse en las plantas normales de tratamiento de aguas para eliminarlos. Lo mismo puede decirse de especies químicas como los fenoles, cianuros, metilos o sustancias radiactivas. Algunos de los metales están entre los más dañinos de los contaminantes elementales, y son de particular interés debido a su toxicidad

para los humanos. Estos elementos son en general los metales de transición, así como algunos elementos representativos como el plomo y el estaño (Prieto 2009).

5.6 Situación actual de las ganaderías de El Salvador

En El Salvador, la ganadería es uno de los rubros del sector agropecuario que mayor aporte tiene dentro de la economía, ya que constituye una buena parte del PIB, del cual se provee carne, leche y subproductos a la creciente población que demanda cantidad y calidad de alimentos (MAG 2003).

Las explotaciones ganaderas trabajan para asegurar la disponibilidad de productos alimenticios, sin considerar la calidad de uno de los insumos más importantes, el agua, ya que de ello depende la calidad misma de la producción, como la salud del animal.

Este subsector no solo ofrece alimento (carne, leche y sus derivados), sino también provee de gran cantidad de materia prima y subproductos para las industrias del calzado, cebo para jabones, elaboración de material de laboratorio de cirugía y compost de los residuos orgánicos provenientes del sacrificio de los bovinos, entre otros. Existen aproximadamente 65,000 productores que ocupan alrededor de 600,000 ha de tierra y a su vez generan más de 150,000 empleos directos e indirectos, generando 22,896 jornales anuales en el área de producción, si se considera la mano de obra que se utiliza en las fases de transporte, proceso y distribución de los productos, lo que hace que esta actividad sobresalga en la estructura económica y social (DGEA 2003, citado por Torres 2008).

5.6.1 Tipo de explotaciones ganaderas

Según Martínez (1999), en El Salvador se pueden encontrar tres tipos de sistemas ganaderos que tienen por objetivo la generación simultánea de productos básicos (carne y leche), entre las que se mencionan:

5.6.1.1 Ganadería de Autoconsumo (subsistencia o familiares)

Como su nombre lo indica son aquellos sistemas basados a la crianza de animales por una familia con el único fin de obtener productos como carne y leche. (Martínez 1999, citado por Torres 2008).

Estos sistemas de producción se caracterizan por realizar las siguientes actividades:

- a) Poseen en su mayoría ganado criollo o encastado, grupos heterogéneos de razas diversas.
- b) Pastorean en zonas alledañas a las calles, o espacios reducidos.
- c) Sin prácticas de nutrición.
- d) De uno a cinco bovinos manejados por la familia.

En nuestro país este tipo de explotaciones constituye el 60% con producciones en promedio de 2 l/vaca/día (Martínez 1999, citado por Torres 2008).

5.6.1.2 Ganadería Extensiva o de Doble propósito

Este tipo de sistema de producción se desarrolla en terrenos grandes donde los animales pastan, se caracterizan por formar parte de un ecosistema natural modificado por las personas, el cual tiene como fin la utilización del territorio de una manera perdurable, es decir, mantiene una relación natural amplia de la producción vegetal bajo el enfoque de manejos de agroecosistemas (Martínez 1999).

Según Martínez (1999), citado por Torres en el 2008, estos sistemas realizan prácticas como:

- a) Pastoreo rotacional con áreas de gramíneas y leguminosas promisorias o mejoradas.
- b) Alimentan al ganado con raciones balanceadas, en su mayoría provenientes de fábricas de concentrados.
- c) Crían al ternero al pie de la vaca con prácticas de amamantamiento restringido.
- d) Aplican acciones de prevención e inmunización en salud animal.
- e) Algunos realizan prácticas de conservación de forrajes con ensilaje de maíz o sorgo.
- f) Usan toros o inseminación artificial. Prevalecen los encastes en su mayoría: Pardo Suizo x Brahman, Brahman x Criollo y otros grupos heterogéneos.
- g) Utilizan parcialmente los registros reproductivos y productivos.
- h) Poseen establos y comederos techados para el ganado.
- i) Se constituyen en sistemas extensivos de producción.
- j) Manejados en forma tradicional con mínima aplicación de tecnologías mejoradas.

- k) Poseen bajo nivel tecnológico, la asistencia técnica es esporádica o ninguna y ofrecen leche de muy mala calidad.
- l) Su mercado son los productores artesanales que compran leche a precios bajos y fluctuantes, el resultado de esta situación son productos lácteos con mínimos estándares de calidad y salubridad.

En El Salvador, este tipo de sistemas de producción constituye alrededor del 30% del ganado en doble propósito, los cuales producen el 60% de leche fluida con producción promedio de 3.13 litros de leche/vaca/día y un porcentaje igual de carne al país (Martínez 1999).

5.6.1.3 Ganadería intensiva o sistemas especializados en producción

Según Martínez (1999), citado por Torres (2008), en este tipo de explotación el ganado se encuentra estabulado bajo las siguientes condiciones:

- a) Generalmente bajo condiciones de temperatura, luz y humedad controlados, con el objeto de incrementar la producción en el menor lapso de tiempo.
- b) Los animales se alimentan principalmente de alimentos enriquecidos conocidos como raciones total mezclada (RTM),
- c) Estos sistemas requieren de grandes inversiones para la compra de materias primas e instalaciones para el sistema de ordeño mecanizado, entre otros aspectos.
- d) La calidad de la leche es garantizada, ya que se cumplen procesos industriales de fomento de producción higiénica de la leche.

En el país, estos sistemas especializados de producción de leche o de producción intensiva, se estiman en un 3% del hato nacional (Martínez 1999, MAG 2003).

Estas ganaderías especializadas se pueden dividir en: sistemas de producción intensivas y semi-intensivas, la diferencia en los dos sistemas es más que todo en el tipo de manejo (alimentación a base de concentrados y pastoreos rotacionales). El rendimiento de producción de los sistemas especializados semi-intensivo con manejo semiestabulado oscila alrededor de 9 a 12 litros/vaca/día y en el sistema intensivo o estabulado la producción promedio es de 15 a 22.50 litros/vaca/día (Martínez 1999, citado por Torres 2008).

5.7 Calidad del agua de consumo para ganado

El agua es el nutriente simple más importante para el ganado. Los animales así como los humanos, pueden vivir por largos períodos sin comida. Por lo tanto, sin agua, puede ocurrir la muerte en cuestión de días. Un bovino adulto en producción de leche (25 litros/día), consume en promedio de 91 a 102 litros de agua por día (NRC 2001), si bien este es un insumo importante, sin embargo, tanto la calidad como la cantidad son a menudo subestimadas. En El Salvador la mayoría de explotaciones se dedican a producir más leche a base de proporcionar una buena alimentación, sin considerar la calidad del agua que estos consumen.

La calidad del agua está definida por la concentración de sus componentes, es decir, al interactuar el agua en el metabolismo de los animales, así como también con el tipo de alimentación que estos consumen, los efectos de estos pueden hacer variar la calidad del agua debido a las características fisiológicas o estados productivos en los que se encuentre el animal. Puede decirse que debería existir una calidad de agua óptima, pero hoy en día no hay suficientes trabajos de investigación que permitan hacer esta inferencia (Hernández 2005).

El agua de consumo para los animales que no cuenta con la calidad adecuada puede tener efectos adversos, entre los que destacan: el desempeño productivo y en ocasiones extremas causan la muerte del animal. Existe información relacionada con la calidad del agua que consumen los animales en otros países, sin embargo, debido a los múltiples factores involucrados en la calidad del recurso y a la complejidad de este nutriente en la fisiología animal, poco se ha estudiado sobre su impacto en el desarrollo y producción animal (leche) (Wattiaux 1996, NRC 2001, citados por Ventura 2006).

Lagger *et al.* (2000) muestran que la calidad del agua que se utiliza dentro de los tanques de abastecimiento durante la época seca no proporcionan la calidad físico, química y microbiológica del agua, encontrándose valores altos de sólidos totales disueltos (STD), la dureza (Ca^{+2} y $\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}$), sulfatos y otros minerales se deben tomar en cuenta, ya que pueden afectar el rendimiento productivo de las vacas lecheras.

Según Hernández *et al.* (2005) los metales considerados tóxicos como: plomo, cadmio y mercurio, están asociados a suelos ricos en ellos, pero sobre todo se relacionan con fuentes de contaminación ambiental, tanto industrial como doméstica y agrícola. Como consecuencia de su comportamiento acumulador, estos valores están sometidos a severas normas para evitar el riesgo de contaminación de forma directa (por consumo de agua) o indirecta (por consumo de productos carne y leche), procedente de animales que consumieron agua contaminada con metales pesados.

Por ello, se hace necesario la evaluación física, química y bacteriológica del agua, realizando monitoreos semestrales para prevenir efectos negativos en el desarrollo productivo de los animales que lo consumen (Lagger *et al.* 2000).

5.7.1 Factores que afectan el consumo de agua en el ganado

La provisión inadecuada de agua reduce la producción de leche más rápidamente que la deficiencia de cualquier otro nutriente. Se calcula que la pérdida de una quinta parte del agua corporal es fatal para la supervivencia animal. El ganado vacuno lechero necesita una cantidad proporcionalmente mayor que otras especies debido al elevado contenido de agua en la leche (87%). El contenido de agua en el cuerpo se reduce con la edad y los animales engrasados (gordos) tienen menor contenido en agua corporal (50%) que los animales magros (70%) (Martínez 2007).

Numerosos factores influyen en las necesidades diarias de agua incluyendo el estado fisiológico, nivel productivo, consumo de materia seca, tamaño corporal, actividad física, composición de la ración, temperatura ambiente y otros factores ambientales. Existen además, características propias del agua que afectan su consumo, entre los que se pueden mencionar: aspectos físicos del agua (temperatura, turbidez); aspectos químicos (pH, sólidos totales disueltos, nitratos, fosfatos, oxígeno disuelto, dureza, sulfatos, minerales y metales pesados). (NRC 2001, Elizondo 2007).

Según Herrero (1996), citado por Charlón *et al.* 2011, el agua subterránea es el recurso más utilizado para proveer de agua al ganado. Su calidad depende fundamentalmente del tipo de

acuífero a partir del cual será extraída o si existe una fuente de contaminación puntual, así como la manera de almacenamiento y limpieza de los mismos. No existe naturalmente el agua químicamente pura, su composición y calidad es muy variable. Por otro lado, estudios realizados por Sager (2000) muestran que la cantidad de agua que puede consumir un animal está influenciado por la especie, la edad o peso y las condiciones climatológicas.

El Código Alimentario Argentino (CAA) define las características que debe reunir el agua potable para consumo humano. Para el ganado bovino no hay especificaciones reglamentarias pero existen recomendaciones surgidas de trabajos de investigación realizadas por diversos autores (Adams 1995, NRC 2001); sin embargo, algunos países (Normativa 92/46 de la Unión Europea) interpretan que los criterios para consumo animal y uso en el tambo son similares que los establecidos para uso humano (Charlón *et al.* 2011).

5.7.2 Parámetros que determinan la calidad del agua de consumo para el ganado

El agua es el elemento más vital de todo ser viviente para el desarrollo de las diferentes funciones fisiológicas, donde la calidad del agua está definida por los elementos que la componen, sin embargo, al interactuar el agua con los diferentes ciclos de desarrollo de productos vegetales y animales, ésta calidad puede modificarse. Varias fuentes coinciden que las características del agua de bebida para los animales deben ser las mismas que para el humano (Sager 2000).

Dentro de los parámetros que se evalúan para determinar la calidad del agua están: los parámetros físicos, químicos y microbiológicos.

5.7.2.1 Parámetros físicos-químicos

- **pH**

Generalmente no se considera como un problema, dado que la mayoría de fuentes de agua presentan valores entre 6,5 y 8,5 (cuadro 2). Los valores bajos pueden afectar la disolución de medicamentos cuando se utiliza el agua de bebida como vía de administración y pueden incrementar los problemas de acidosis (Adams 1995, Charlón *et al.* 2011).

Cuadro 2. Concentración máxima de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el agua para uso y consumo de humanos y animales.

Compuesto químico	¹ NSO 13.07.01:08 (humanos) (ppm ó mg/l)	² EPA (humanos) (ppm ó mg/l)	³ CWQG (guía Canadiense para humanos) (ppm ó mg/l)	⁴ NRC (animales domésticos) (ppm ó mg/l)	⁵ CAA (animales domésticos) (ppm ó mg/l)
pH	8,5	6.5/8.5	-	-	6.5-8.5
Sulfatos	400,00	250	1,0000	-	4,000*
STD	1000	500	3,000	7,000	1500-1700
Nitrógeno como nitratos	40,0	10,0	10,0	10,0	44
Nitrógeno como nitritos	1,0	1,0	1,0	1,0	-
Recuento de coliformes fecales	< 1.1 NMP/100ml	-	-	-	-
Recuento de coliformes totales	< 1.1 NMP/100ml	-	-	-	-
<i>Escherichia Coli</i>	< 1.1 NMP/100ml	-	-	-	-
Recuento de bacterias Heterótrofas	100 UFC/100 ml	-	-	-	-

Fuentes: ¹ CONACYT 2007, 2008 Norma Salvadoreña Obligatoria de agua potable. (NSO 13.07.01:08)

² US Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/safewater> 2006.

³ Canadian Water Quality Guidelines –task force on agricultural uses/ livestock watering. 1987.

⁴ National Research Council. Nutrients and toxic elements in water for livestock and poultry. 2001.

⁵ Código Alimentario Argentino.

- Valores no reportados.

- **STD (Sólidos Totales Disueltos)**

Existen muchas variaciones en cuanto a los valores mínimos y máximos permisibles sobre el contenido de sólidos totales disueltos en el agua, ya que las normas establecidas son las de agua potable para consumo humano, pero en países como: Argentina, Canadá, Estados Unidos, Unión Europea, entre otros, reportan parámetros que pueden dar un valor promedio en el cual puede oscilar la calidad de agua de las ganaderías de país (cuadro 2).

Las publicaciones extranjeras o de otras regiones de Latinoamérica, informan que el máximo de tolerancia de sales totales es de 1.5 a 1.7 g/l, pero estos valores se refieren al uso humano y no animal. El agua de pozo que contiene menos de 1.5 g/l de sales totales, demanda suplementación mineral para vaca de cría y es común que se definan como aguas "poco engordadoras". En contraste con aquellas aguas que poseen entre 2 y 4 g/l de sales, son aguas

que por lo general no requieren suplementación (salvo que haya excesos de Sulfatos) y se definen como "aguas engordadoras". Cuando estos valores son mayores de 4 g/l pueden presentarse algunos problemas de restricción voluntaria de consumo de agua, pero los animales se adaptan bastante bien a ésta aun cuando la producción pueda verse disminuida de diferentes formas. Cuando los niveles exceden los 10 g/l (10,000 ppm) la restricción es seria y hace desaconsejable su uso (Sager 2000).

- **Nitritos y nitratos**

El valor de nitratos a partir del cual pueden aparecer problemas en ganado lechero, es de 44 mg/l (NRC 1980, citado por Charlón *et al.* 2011), coincidiendo con el admitido para seres humanos según el Código Alimentario Argentino (CAA) (cuadro 2). Cuando el contenido se encuentra entre 45 y 200 mg/l pueden presentarse problemas cuando no hay un adecuado balance nutricional y especialmente cuando el sustituto (leche) se prepara con agua contaminada; pero este es el rango máximo admisible de nitratos y nitritos para animales en crecimiento (Sager 2000).

De 200 a 500 mg/l existe riesgo de problemas reproductivos (mayor número de servicios por preñez) en períodos largos de consumo. Cuando los contenidos son mayores a 500 mg/l no se deben utilizar estas fuentes de agua para bebida (Yeruham *et al.* 1997, citado por Charlón *et al.* 2011).

- **Sulfatos**

Está comprobado que con niveles relativamente bajos (aproximadamente 0.5 g/l de agua) se producen interferencias con la absorción de cobre (Cu) y tal vez con el calcio (Ca), magnesio (Mg) y fósforo (P). Para animales adaptados, el valor máximo tolerable de sulfatos es de 4 g/l (cuadro 2), pero el sulfato de sodio (Na_2SO_4) hasta 1.0 g/l favorece la digestión de celulosa y un mayor consumo de alimentos. Por encima de 700 mg/l, debido al efecto osmótico, serían causantes de diarreas, que se observan con mayor frecuencia en verano (Adams 1995, Sager 2000).

- **Cloruros**

Valores de 1,000 mg/l pueden coincidir con alteraciones en el sistema óseo, mientras que de 2,000 a 2,500 mg/l serían los valores que la bibliografía considera como los valores máximos admitidos con dietas ricas en granos y balanceados (cuadro 3), pero no hace referencia a los sistemas pastoriles (NRC 2001). Cabe considerar en este punto que las manifestaciones del exceso de sulfatos están altamente influenciados por el tipo de alimentación. Valores de 4,000 mg/l son intolerables y sumamente peligrosos (Bavera *et al.* 1999, citado por Charlón, 2011).

Cuadro 3. Guía de concentración de nutrientes y elementos tóxicos (concentración máxima) en el agua potable para humanos y animales por diferentes autores.

Clasificación	Compuesto químico	¹ NSO 13.07.01:08 (humanos) (ppm ó mg/l)	² EPA (humanos) (ppm ó mg/l)	³ CWQG (guía Canadiense para humanos) (ppm ó mg/l)	⁴ NRC (animales domésticos) (ppm ó mg/l)
Minerales en agua de interés nutricional	Aluminio (Al)	0.2	0.2	5.0	-
	Cloro (Cl)	1.1	2.50	-	-
	Flúor (F)	1.0	2.0	2.0	2.0
	Hierro (Fe)	0.3	0.3	-	-
	Zinc (Zn)	5.0	5.0	25.0	25.0
	Selenio (Se)	0.01	0.05	0.05	-
	Sodio (Na)	200	-	-	-
	Dureza total Como (CaCO ₃)	1.3	-	-	-
Metales pesados en agua	Cobre (Cu)	1.3	1.3	1.0	0.5
	Manganeso (Mn)	0.1	0.005	-	-
	Plata (Ag)	0.07	0.1	-	-
	Bario (Ba)	0.7	2.0	-	-
	Vanadio (V)	-	0.01	-	-
	Arsénico (As)	0.01	0.01	0.5	0.2
	Cadmio (Cd)	0.003	0.005	0.002	0.005
	Cromo (Cr)	0.05	0.1	1.0	1.0
	Cobalto (Co)	-	-	1.0	1.0
	Plomo (Pb)	0.01	0.015	0.1	0.1
Mercurio (Hg)	0.001	0.002	0.003	0.001	

Fuentes: ¹ CONACYT 2007, 2008 Norma Salvadoreña Obligatoria de agua potable. (NSO13.07.01:08)

² US Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/safewater> 2006.

³ Canadian Water Quality Guidelines –task force on agricultural uses/ livestock watering. 1987.

⁴ National Research Council. Nutrients and toxic elements in water for livestock and poultry. 2001.

5.7.2.2 Parámetros Microbiológicos

Son parámetros utilizados para medir la contaminación de tipo orgánico, entre estos parámetros se mencionan:

- **Recuento de Coliformes Fecales**

Es un parámetro que mide el crecimiento o la multiplicación de las bacterias coliformes a una temperatura de $44.5^{\circ}\text{C} \pm 0.2^{\circ}\text{C}$. Las cuales provienen en su mayoría de contaminantes fecales de humanos y animales de sangre caliente (cuadro 2). Medido como un valor estimado de la densidad media de bacterias coliformes en una muestra de agua, sus unidades de concentración son: Numero más Probable por 100 mililitros de muestra (NMP/100 ml) según la Norma Salvadoreña Obligatoria para agua potable NSO 13.07.01:08 (CONACYT 2008).

- **Recuento de Coliformes Totales**

En un parámetro utilizado como indicador de la contaminación microbiana, originada por bacterias en forma de bacilos, anaeróbios facultativos, gram negativos, no formadores de esporas (cuadro 2). Medido como un valor estimado de la densidad media de bacterias coliformes en una muestra de agua, sus unidades de concentración son: Numero más Probable por 100 mililitros de muestra (NMP/100 ml) según la Norma Salvadoreña Obligatoria para agua potable NSO 13.07.01:08 (CONACYT 2008).

- **Recuento de Bacterias Heterótrofas**

Según la NSO 13.07.01:08 (CONACYT 2008), las Bacterias Heterotróficas están presentes en todos los cuerpos de agua y constituyen un grupo de bacterias ambientales de amplia distribución, éstas son indicadoras de la eficacia de los procesos de tratamiento, principalmente de la desinfección (descontaminación ó degradación del carbono), su concentración se expresa como un número de colonias originadas a partir de una célula, pares, cadenas o agrupaciones de células, es decir, Unidades Formadoras de Colonias por mililitro (UFC/ml) (cuadro 2).

5.7.2.3 Minerales y Metales pesados

El agua es fuente de minerales y estos contribuyen a satisfacer los requerimientos. Sin embargo, niveles superiores a ciertos valores máximos pueden ser perjudiciales para la salud.

El sodio (Na) en general se encuentra bajo la forma de cloruro de sodio (NaCl), no causa efectos negativos a no ser que se encuentren valores que oscilen entre el rango de 1,000 a 1,600 mg/l de sodio (Sager 2000).

El magnesio (Mg), es un importante nutriente pero los excesos en el agua también pueden causar problemas. Es por eso que se recomienda que los niveles no superen los 400 mg/l. (Elizondo 2007).

Sager (2000), en sus estudios sobre metales pesados (hierro, manganeso, plomo, otros) en agua de consumo para bovinos, afirma que es muy poco frecuente encontrar altas concentraciones de estos elementos, a no ser que los pozos se encuentren en proximidad de yacimientos minerales o de fuentes de contaminación directa, en la que se recomienda un buen muestreo y un buen análisis físico químico para determinar su posible contaminación.

De acuerdo al NRC 2001, EPA 2006, CWQG 1987 y CONACYT 2007, nutrientes como el Aluminio, Flúor, Selenio, otros, y metales pesados como el Cadmio, Cromo, Manganeso, otros, se encuentran en menor cantidad, pero por encima de cierta concentración pueden poner en riesgo la salud de los humanos y animales. Los niveles en el agua de estos elementos deberían ser inferiores a los que se muestran en el cuadro 3.

5.8 Metales pesados

Se consideran metales pesados todos los elementos químicos que presentan una alta densidad, son en general tóxicos para los seres humanos y entre los más susceptibles de presentarse en el agua destacamos: mercurio, níquel, cobre, plomo y cromo. Los metales pesados son de gran interés para la humanidad debido a que la presencia de estos en el ambiente tiene efectos negativos en la salud de las personas, de los animales y de los cultivos agrícolas. Los metales pesados han sido encontrados en los alimentos y provienen de diversas fuentes como: suelo contaminado, lodos residuales, fertilizantes químicos y plaguicidas, por lo que determinar la presencia de metales pesados en alimentos, agua y productos lácteos, es de importancia en la salud ya que la exposición prolongada a ellos genera un deterioro en el estado de la salud sin que el individuo lo perciba (Cargua 2010).

5.8.1 Clasificación de los metales pesados

Los metales pesados se clasifican en dos grupos:

- **Oligoelementos o micronutrientes:** son requeridos en pequeñas cantidades o en cantidades traza por las plantas y los animales, son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Dentro de este grupo están: arsénico (As), boro (B), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), molibdeno (Mo), manganeso (Mn), níquel (Ni), selenio (Se) y zinc (Zn) (Medina 2012).
- **Metales pesados sin función biológica conocida:** cuya presencia en determinadas cantidades en los seres vivos lleva juntamente alteraciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son principalmente: cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), níquel (Ni), bismuto (Bi). Es importante retomar que el exceso de cualquiera de los metales pesados puede provocar disfunciones biológicas en el ser humano y que la intoxicación puede llevarse a cabo por acumulación de cualquier metal pesado en un determinado espacio de tiempo, no necesariamente llegar a cantidades tóxicas en una sola dosis (Medina 2012).

5.8.1.1 Plomo

El plomo (Pb) es un metal suave, de color azul-grisáceo, ubicado en la tabla periódica en el grupo 14 (Familia de los Carbonoides), del periodo seis. Se encuentra de manera natural, pero una buena parte de su presencia en el medio ambiente se debe a su uso histórico en pinturas y gasolinas, así como a diversas actividades mineras y comerciales. Debido a su uso extendido, hoy en día el plomo se puede encontrar dentro de cada uno de nuestros cuerpos a niveles muy superiores a los que había en la antigüedad, y a niveles que causan efectos adversos en la salud (Alais 2003).

- **Toxicidad por plomo en bovinos**

Los bovinos pueden contaminarse con plomo únicamente que ingieran agua o alimento contaminado (pasto, forraje u otro), lo cual es bien extraño que pueda suceder. Solo el 1-2% del plomo ingerido se absorbe en el tracto gastrointestinal formándose compuestos bastante insolubles, incluso en el intestino. El medio ácido favorece la disolución del plomo y de sus

compuestos inorgánicos. En la naturaleza persiste indefinidamente. La dosis única letal oral aguda en terneros es de 50-600 mg/Kg con plomo o sales; vacuno adulto, 50-100 gramos dosis total en forma de acetato de plomo, o 600 a 800 mg/Kg procedente de sales de plomo. La toxicosis crónica se presenta si es ingerido durante un periodo de días, semanas o meses, cuando el plomo procede de pinturas. Cuando el plomo se ingiere de forma prolongada en pequeñas cantidades puede desatar una enfermedad ligera o grave aunque la definición de pequeñas cantidades varía con la especie (Cargua 2010).

- **Intoxicación por plomo en bovinos**

La ingestión de este mineral puede producir envenenamiento, ya que se afecta el sistema nervioso central, los signos son: ataxia, temblores musculares, movimientos de masticación y expulsión de espuma de la boca, marcada hiperestesia a los ruidos, manifestando muchas veces ceguera, dando lugar a inseguridad de movimientos que los hacen retroceder en cualquier momento. También se presenta dilatación pupilar, opistótomos y temblor muscular persistente en periodos de convulsiones clónicas y tónicas en forma intermitente, sucediendo la muerte en una de estas convulsiones por insuficiencia respiratoria (Medina 2013).

5.8.1.2 Arsénico

El arsénico (As) es un elemento ampliamente distribuido en la corteza terrestre, pertenece al grupo cinco en la tabla periódica (familia de los Nitrogenoides). Las valencias más comunes son: As (0) (arsénico metaloide, estado de oxidación 0), As (III) (trivalente, estado de oxidación +3, como en los arsenitos), As (V) (pentavalente, estado de oxidación +5, como en los arseniatos), y Gas Arsina (estado de oxidación -3). El arsénico ha sido clasificado químicamente como un metaloide, con propiedades tanto de metal como de elemento no metálico; aunque, se le refiere frecuentemente como un metal. El arsénico elemental (llamado también arsénico metálico) es un material sólido de color gris acero. Sin embargo, en el ambiente el arsénico generalmente se encuentra combinado con otros elementos como por ejemplo oxígeno, cloro y azufre. El arsénico combinado con estos elementos se conoce como arsénico inorgánico. El arsénico combinado con carbono e hidrógeno se conoce como arsénico orgánico (ATSDR 2007).

El arsénico se encuentra naturalmente en el suelo y en minerales, por lo tanto puede entrar al aire, al agua y al suelo en polvo que levanta el viento. También puede entrar al agua, ya sea en forma de escorrentía o en la que se filtra a través del suelo. Las erupciones volcánicas constituyen otra fuente de arsénico, por lo que independientemente de la composición salina que se encuentre en el agua de bebida, altos niveles de este elemento limitarían su consumo (Sager 2000).

El arsénico está asociado con minerales que se minan para extraer metales, como por ejemplo cobre y plomo, y puede entrar al ambiente cuando se extraen o funden estos minerales. También se pueden liberar a la atmósfera en cantidades pequeñas. La concentración de arsénico en el suelo varía ampliamente, en general entre aproximadamente 1 y 40 partes de arsénico por millón de partes de suelo (ppm), con un promedio de 3 a 4 ppm. Sin embargo, los suelos cerca de depósitos geológicos ricos en arsénico, cerca de algunas minas y fundiciones, en áreas agrícolas donde se usaron plaguicidas con arsénico en el pasado, pueden tener niveles de arsénico mucho más altos (ATSDR, 2007).

La concentración de arsénico en agua de superficie o subterránea puede variar en aproximadamente 1 parte de arsénico por billón de partes de agua (1 ppb), pero puede exceder 1,000 ppb en áreas de minería o donde los niveles de arsénico en el suelo son naturalmente elevados. El agua subterránea contiene niveles de arsénico más altos que el agua superficial con 0.05 ppm a 0.2 ppm. El Arsénico puede penetrar a los organismos vivos a través del aire al respirar, por alimentos y agua de bebida, los alimentos son la fuente principal de arsénico (Sager 2000).

5.9 Situación de la producción láctea en El Salvador

Los últimos datos de la producción láctea a nivel nacional demuestran un incremento del 21.5% con respecto a la década anterior (85 millones de litros más), que equivale alrededor de 450 millones de litros de leche por año (MAG 2010). Este crecimiento de la producción de leche a nivel nacional, se debe a la aplicación de nuevas tecnologías, y a la asistencia técnica para desarrollar a este rubro y su industria en la transformación de leche en sus derivados, pero amenazada, como es frecuente, por una tasa de crecimiento mayor de las importaciones que se desarrollan actualmente por el libre mercado.

Según el IICA (2011) el consumo per cápita de productos lácteos por persona sobrepasa los 100 kg/año, cantidad insuficiente, de acuerdo al consumo adecuado por los países desarrollados que oscila en 234.3 kg/año/persona.

De acuerdo al comportamiento que ha presentado la producción láctea en los últimos años, no se pronostican cambios en la mejoría de este sistema de producción. Adicionalmente, en el país se pagan los precios más altos de leche en relación con el resto de países de la región, el consumo de leche y productos lácteos es en su mayoría sin pasteurizar, más del 75% de la leche procesada se hace en plantas artesanales, con ganaderías de doble propósito (IICA 2011).

5.9.1 Parámetros que determinan la calidad de la leche cruda

El término de leche cruda se refiere al producto íntegro, no alterado ni adulterado de la secreción de las glándulas mamarias de las hembras del ganado bovino, que se obtiene por el ordeño higiénico, regular, completo e ininterrumpido de vacas sanas y libre de calostro, que no ha sufrido ningún tratamiento a excepción del filtrado o enfriamiento, y está exento de color, olor, sabor y consistencias anormales (CONACYT 2008, RTCA 2011).

La calidad de la leche conforma tres aspectos bien definidos: composición físico-química, cualidades organolépticas y cualidades microbiológicas, todas ellas establecidas por normas vigentes (Vargas, 2000; RTCA 2011; FAO - OMS 2011).

5.9.1.1 Composición físico química de la leche

Determinar la composición de la leche es importante ya que influye en el rendimiento quesero, cuanto mayor sea el contenido de proteínas y grasas de una leche, mayor será su rendimiento al elaborar quesos (Tornadizo y Marra 1998). Valores iguales o superiores al 12% de sólidos totales, al 3.5% de grasa y al 8.8% de sólidos no grasos, suelen ser característicos en leches de alta calidad técnica (Chacón 2009).

Los contenidos de grasa, sólidos no grasos y sólidos totales, se determinan en base a la legislación nacional establecida en la Norma Salvadoreña Obligatoria para la leche cruda de vaca (NSO 67.01.01:06), los cuales son análisis físicos y químicos que determinan la calidad de la leche (CONACYT 2008) (anexo 1).

5.9.1.2 Composición microbiológica de la leche

De acuerdo a los requisitos microbiológicos que establece el CONACYT (2008), dentro de la NSO 67.01.01:06 para la leche cruda de vaca, se establecen tres categorías, las cuales pueden apreciarse en el cuadro 4.

Cuadro 4. Requisitos microbiológicos de la leche cruda de vaca.

Características	Grado A	Grado B	Grado C
Recuento total de microorganismos por mililitro	Menor o igual a 300,000	Mayor de 300,000 y menor o igual a 600,000	Mayor de 600,000 y menor de 900,000

Fuente: CONACYT (2008).

5.9.2 Fuentes contaminantes de la leche

- **En la granja**

La leche se puede contaminar en el momento del ordeño, ya que si la ubre está sucia con materia orgánica, es necesario lavarla, secarla y desinfectarla; además, hay que mantener limpios los utensilios y los equipos de ordeño, como: tanques de almacenamiento, cubetas, la higiene de los operadores, entre otros, los cuales son fuentes de contaminación que pueden llegar a la leche.

Probablemente las dos fuentes de contaminación más importantes sean los utensilios que se emplean en el ordeño y las superficies que contactan con la leche, entre los que se incluyen: los cubos (oxidados) o las máquinas de ordeño (según sea la forma de ordeño), los coladores, los recipientes en los que se recoge la leche o las tuberías por las que circula, y el contenedor de almacenamiento de la leche. Si estos no se limpian, desinfectan y secan convenientemente,

es posible que las bacterias se multipliquen abundantemente en los restos de leche y después contaminen la leche que entra en contacto con las citadas superficies (Frazier 2003).

Otras posibles fuentes de contaminación son las manos y brazos del ordeñador y de los obreros que trabajan en la granja de vacas lecheras, el aire del establo o el de la sala de ordeño, y las moscas. Estas fuentes de contaminación eliminarán normalmente muy pocas bacterias, aunque podrían constituir una fuente de microorganismos patógenos o de microorganismos capaces de alterar la leche. La calidad del agua procedente de la red de abastecimiento de la granja que se emplea en la sala de ordeño para las operaciones de limpieza, aclarado, entre otros, puede influir a la calidad de la leche (Varnan 1994).

Rodríguez (2003) hace referencia a estudios de la Organización Mundial de la Salud (OMS), donde se menciona que la leche de bovinos que pastorean e ingieren agua a las orillas de lagos y ríos contaminados con desechos industriales y aguas negras, contienen metales pesados como plomo, cadmio, mercurio y zinc; en estos estudios se ha encontrado que la concentración de metales pesados ingeridos por las vacas tienen influencia sobre las concentraciones de dichos elementos en la leche, además, demostraron que una parte de estos elementos son excretados en la leche, unidos a compuestos orgánicos, principalmente en las proteínas, mientras que otros se asocian a una baja porción de grasa.

En los análisis realizados durante la 32a. Reunión del CODEX alimentarius celebrada en Beijín en el 2000, se muestra que en los países Europeos disminuyó el consumo de la leche 550 ml/día a consecuencia de estar contaminada con plomo, esta contaminación se originó a través del alimento que consume el ganado (González *et al.* 2006).

Estudios realizados sobre los niveles máximos de metales pesados en la leche de consumo para diferentes países como la Unión Europea, Mercosur (Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay), Sudáfrica, entre otros países, reportan los siguientes valores de 0.02 mg/kg para plomo y 0.05 mg/kg para Arsénico (González *et al.* 2006, FAO–OMS 2011).

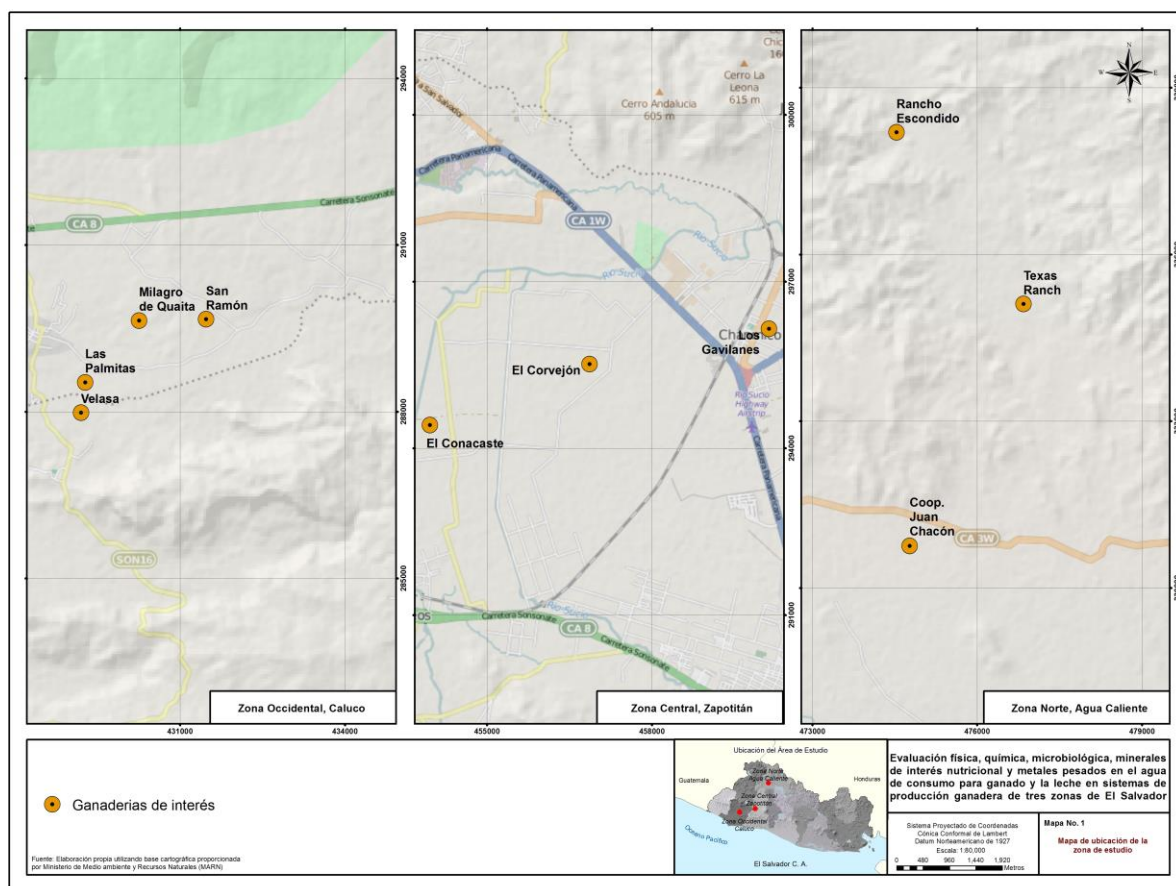
- **Durante su transporte y procesamiento**

Otras fuentes de contaminación después de haber salido la leche de la granja incluyen el camión cisterna, los tubos que se emplean para trasvasar la leche, los utensilios para la recogida de muestras, y el equipo de la central lechera. También, las superficies con las cuales contacta la leche. Es posible que las tuberías de conducción de leche, los cubos, tanques, bombas, desnatadoras, clarificadoras, homogeneizadoras, refrigeradores, filtros, agitadores, y las embotelladoras, actúen como fuentes de contaminación por bacterias cuando no son lavados y desinfectados de manera adecuada. La cantidad o nivel de contaminación procedente de cualquiera de estas fuentes depende de los procedimientos de limpieza y desinfección empleados (Frazier 2003).

VI. Metodología

6.1 Ubicación

La investigación fue desarrollada en tres zonas de El Salvador: en la zona 1, Occidente, municipio de Caluco, departamento de Sonsonate; zona 2, Central, municipio de San Juan Opico, departamento de la Libertad y la zona 3, Norte del país, en el municipio de Agua Caliente, en el departamento de Chalatenango (figura 1).



Fuente: Google earth, 2014.

Figura 1. Ubicación de las diferentes ganaderías estudiadas.

6.2 Duración

Los muestreos se llevaron a cabo entre los meses de marzo a octubre de 2014. Los análisis e interpretación de resultados fueron realizados en el período de marzo a diciembre del mismo año y la elaboración del documento final comprendió los meses de octubre de 2014 a agosto de 2015.

6.3 Unidades de estudio

Para cumplir el objeto de la investigación fue necesaria la selección de las ganaderías, las cuales tenían que cumplir con las siguientes condiciones mínimas:

- Número de vacas: tener al menos 30 vacas en ordeño.
- Tipo de ordeño: mecanizado.
- Abastecimiento de agua: bombeo de pozo.
- Almacenamiento de la leche producida: contar con un tanque de enfriamiento de la leche y con agitación constante.

Se evaluaron 3 ganaderías lecheras en cada zona, a excepción de la zona 1, Occidente, en donde se evaluaron cuatro ganaderías, haciendo un total de 10 ganaderías durante el estudio, las cuales se detallan a continuación:

- Zona 1, Occidente:
 - Ganadería 1: Hacienda Las Palmitas.
 - Ganadería 2: Hacienda Velesa.
 - Ganadería 3: Hacienda San Ramón.
 - Ganadería 4: Hacienda Milagro de Quaita
- Zona 2, Centro:
 - Ganadería 1: Hacienda El Conacaste.
 - Ganadería 2: Hacienda El Corvejón.
 - Ganadería 3: Hacienda Los Gavilanes.
- Zona 3, Norte:
 - Ganadería 1: Cooperativa Juan Chacón.
 - Ganadería 2: Hacienda Rancho Escondido.
 - Ganadería 3: Hacienda Texas Ranch.

6.4 Muestreos

Se programó la realización de visitas a cada una de las ganaderías seleccionadas en cada zona, para explicar los objetivos de la investigación y las metodologías a seguir para la realización de los muestreos. Se realizaron cuatro muestreos: dos en época seca (marzo y abril) y dos en época lluviosa (junio y julio). En cada muestreo se tomó una muestra de agua y una de leche,

con su respectiva repetición. Cada muestra se identificaba y transportaba inmediatamente al laboratorio para su análisis (cuadro 5).

Cuadro 5. Distribución de los muestreos por zona y por época.

Zonas	Época	Ganaderías	Nombre
1. Occidente	Seca/Lluviosa	Ganadería 1	Hacienda Las Palmitas
		Ganadería 2	Hacienda Velesa
		Ganadería 3	Hacienda San Ramón
		Ganadería 4	Hacienda Milagro de Quaita
2. Central	Seca/Lluviosa	Ganadería 1	Hacienda El Conacaste
		Ganadería 2	Hacienda El Corvejón
		Ganadería 3	Hacienda Los Gavilanes
3. Norte	Seca/Lluviosa	Ganadería 1	Cooperativa Juan Chacón
		Ganadería 2	Hacienda Rancho Escondido
		Ganadería 3	Hacienda Texas Ranch

Fuente: Elaboración propia.

6.4.1 Muestreos de agua

En cada ganadería se seleccionaron los abrevaderos donde consume agua el ganado en ordeño. Por cada muestreo se colectaron tres muestras en frascos de polietileno con capacidad de 1 litro, previamente lavados. Cada frasco donde se tomó la muestra de agua se ambientaba, pasándolo tres veces con el líquido a muestrear, se rotuló y colocó en una hielera a 4° C para su traslado al laboratorio de Química Agrícola, de la Facultad de Ciencias Agronómicas, de la Universidad de El Salvador, donde se desarrollaron los análisis (figura 2).



Figura 2. Toma de muestras de agua en abrevadero para ganado.

Las tres muestras de agua que se recolectaron fueron para determinación de los siguientes parámetros:

a) Muestras para determinar metales pesados

La toma de muestras de agua para las determinaciones de metales pesados y algunos minerales de interés nutricional como: Plomo, Manganeso, Hierro, Arsénico, Cobre y Zinc, se realizó siguiendo los parámetros establecidos en la Norma Salvadoreña Obligatoria para agua potable (NSO 13.07.01:08) (CONACYT 2009). Para ello, los frascos en donde se recolectaban las muestras estaban previamente lavados y secados, se ambientaron tres veces, para luego obtener la muestra final, posteriormente se rotulaban, se preservaban en hielera a 4° C y se transportaron al laboratorio para su respectivo análisis. Al frasco que fue seleccionado como el duplicado del muestreo o repetición, se le adicionó 2 ml de ácido nítrico concentrado (HNO₃), como preservador de la muestra para posibles repeticiones de los diferentes parámetros a cuantificar. Si el preservante de ácido nítrico estaba en el frasco, la muestra de agua se tomaba de manera indirecta con ayuda de otro recipiente estéril, para evitar la contaminación del abrevadero.

b) Muestras para determinar la calidad física y química del agua, y minerales de interés nutricional

Los frascos que fueron utilizados para la toma de muestras de agua para la determinación de estos parámetros, estaban lavados y secados previamente, fueron ambientados tres veces antes de tomar la muestra final, se identificaban y se preservaban en hieleras a 4° C, para luego ser conducidas al laboratorio para su pronto análisis. Estos muestreos se desarrollaron siguiendo los procedimientos establecidos en la Norma NSO 13.07.01:08, de acuerdo al análisis a realizar, como: minerales de interés nutricional (Calcio, Sodio, Potasio y Magnesio) y la determinación de los parámetros físicos-químicos de la calidad del agua potable como: pH, Turbidez, Temperatura, Sólidos Totales Disueltos, Durezas, Sulfatos, Nitratos, Cloruros.

c) Muestras para análisis microbiológico

Los frascos que contenían las muestras de agua para el análisis microbiológico son de material de polietileno, con capacidad de 500 ml, previamente lavados, secados y esterilizados en autoclave, para asegurar la asepsia en la toma de las muestras.

6.4.2 Muestras de leche

En cada una de las ganaderías se tomaron dos muestras de leche en la parte superior del tanque de refrigeración, con un recipiente previamente lavado, secado y esterilizado, o con ayuda de un tazón de acero inoxidable, dicho tanque tenía que estar en agitación constante. Para el muestreo se utilizaron frascos de polietileno de 500 ml cada uno, previamente lavados y esterilizados en autoclave (CONACYT 2008 y AOAC 1980), luego fueron identificados o codificados según la ganadería muestreada, refrigerados en hieleras a 4° C y posteriormente conducidas al laboratorio para su análisis inmediato debido a la naturaleza perecedera (figura 3).



Figura 3. Toma de muestras de leche de los tanques de refrigeración.

6.5 Metodologías de análisis de laboratorio

a) Preparación y análisis de las muestras de agua

Previo a los análisis, cada muestra se llevó a temperatura ambiente, se homogenizó y posteriormente se tomó una alícuota de 100 ml, la cual se depositó en un vaso de precipitación. Para digerir y solubilizar la muestra se le añadió 5 ml de ácido clorhídrico concentrado (HCl) y luego se colocó en un plato de calentamiento por 10 minutos hasta ebullición de la muestra. Una vez que la muestra se enfrió, se filtró y se llevó a un volumen de 100 ml (figura 4). De estas muestras preparadas se tomaron alícuotas correspondientes en viales de 50 ml para su refrigeración y preservación, posterior a la lectura o cuantificación del parámetro se llevaban a temperatura ambiente y se colocaron en viales específicos que

contenían la cantidad de muestra necesaria para el carrete del aparato Espectrofotómetro de Absorción Atómica marca Shimadzu, modelo AA 7000 para su posterior lectura.

Previo a esto, se prepararon las lámparas y los estándares necesarios para la curva de calibración de cada parámetro a cuantificar con su longitud de onda respectiva (cuadro 6). Por Espectrofotometría de Absorción Atómica se determinó: Calcio, Potasio, Magnesio, Sodio, Zinc, Hierro, Cobre, Níquel; para determinación de metales pesados como Plomo (Pb) se utilizó Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito y para determinación de Arsénico (As) se hizo por Espectrofotometría con Generador de Hidruros. Las concentraciones de las muestras se reportaron en mg/l (anexo 3, 4, 5, 5A, 7, 8, 10 y 11).



Figura 4. Preparación y digestión de muestras de aguas para determinación de minerales de interés nutricional y metales pesados.

Cuadro 6. Especificaciones para medición de minerales de interés nutricional y metales pesados por Espectrofotometría de Absorción Atómica por Horno de Grafito y Generador de Hidruros.

Elemento	Longitud de Onda (nm)	Rango de concentración de la curva de calibración	Tubo	Volumen de inyección de muestra	Sustancias Interferentes y Modificadores de Matriz
Arsénico (As)	193.7	1 a 20 ng/mL	Tubo de grafito de alta densidad (agregado de Pd de 10 ppm)	20 µl	Interferencia negativa con 500 mg/l de Ca, 500 mg/l de Na o 50 mg/l de Fe. Se agrega Nitrato de Paladio (II), o Nitrato de Níquel.
Cobre (Cu)	324.8	10 a 50 ng/mL	Tubo de grafito de alta densidad.	20 µl	
Hierro (Fe)	313.4	10 a 50 ng/mL	Tubo de grafito Pirolítico.	20 µl	
Níquel (Ni)	232.0	2 a 20 ng/mL	Tubo de grafito Pirolítico.	20 µl	Interferencia positiva con 50 mg/l de Fe y se agrega Nitrato de Magnesio o Cloruro de Amonio
Sodio (Na)	589.0	5 a 20 ng/mL	Tubo de grafito de alta densidad.	10 µl	
Plomo (Pb)	283.3	1 a 20 ng/mL	Tubo de grafito de alta densidad (con 10 ppm de Pd agregados)	20 µl	Interferencia positiva con 1,000 mg/L de Mg, 500 mg/L de Ca o 500 mg/L de Na. Se adiciona Nitrato de Paladio (II) o Cloruro de Amonio.
Zinc (Zn)	213.9	1 a 4 ng/mL	Tubo de grafito de alta densidad.	10 µl	

Fuente: Manual de procedimientos Shimadzu (s.f.).

Los métodos para determinar parámetros físicos, químicos y microbiológicos, a cada una de las muestras de agua, se detallan en los cuadros 7 y 8.

Cuadro 7. Métodos para la determinación de parámetros físicos y químicos del agua potable.

N°	Determinación (elemento a cuantificar)	Unidad de medida	Metodología	Referencia
1	pH	Adimensional	Método potenciométrico	WPCF APHA AWWA 1992.*
2	Turbidez	FAU	Método Espectrofotométrico visible (NOVA 60)	Manual de procedimientos NOVA 60.
3	Temperatura (T°)	°C	Método directo, termómetro de vidrio con mercurio	WPCF APHA AWWA 1992.*
4	Sólidos totales disueltos (STD)	mg/l	Método potenciométrico (Sonda Multiparámetros)	WPCF APHA AWWA 1992.*
5	Dureza (Ca ⁺² y Ca+Mg)	mg/l	Método volumétrico	WPCF APHA AWWA 1992.*
6	Sulfatos (SO ₄ ⁻²)	mg/l	Métodos gravimétricos y volumétricos	WPCF APHA AWWA 1992.*
7	Cloruros (Cl ⁻)	mg/l	Métodos volumétricos por precipitación	AOAC 1980; WPCF APHA AWWA 1992.*

* Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA).

Cuadro 8. Métodos para la determinación de los análisis microbiológicos en agua potable

N°	Determinación (elemento a cuantificar)	Unidad de medida	Metodología	Referencia
1	Recuento de coliformes fecales	NMP/100 ml de muestras	NMP con medio EC o Chromocult	WPCF APHA AWWA 1992.*
2	Recuento de coliformes Totales	NMP/100 ml de muestras	NMP con medio ELMX o caldo lactosado	WPCF APHA AWWA 1992.*
3	Conteo de <i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml de muestras	Recuento en placas con bilis rojo de violeta	WPCF APHA AWWA 1992.*
4	Conteo de bacterias heterótrofas	NMP/100 ml de muestras	Medio Play count	WPCF APHA AWWA 1992.*

* Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA).

b) Preparación y análisis de las muestras de leche

Las muestras que se preservaron en hieleras, se agitaron para su homogenización y se llevaron a temperatura ambiente (25° C) (CONACYT 2008). Después de llevar a temperatura ambiente las muestras, se tomó una porción de la muestra para homogenizar, y con el objeto de disolver los grumos se pasó de un recipiente a otro unas diez veces. Posteriormente se pesó 5 g de leche en un recipiente de porcelana, se evaporó el líquido en una estufa a 105 °C, seguidamente se precalcinó la muestra en un plato de calentamiento a 200 °C y se trató con ácidos (2 ml de ácido sulfúrico concentrado y 0.5 ml de ácido nítrico concentrado) para digerir y destruir todo el material orgánico, luego se llevó a sequedad completa (evaporación de ácidos).

Después se calcinó en un horno mufla a 500° C por 2 horas, se enfrió y se pesó, las cenizas obtenidas fueron de color gris o blanquecinas, se solubilizaron con 5 ml de ácido clorhídrico concentrado (HCl) para disolver todos los minerales, posteriormente se calentó hasta la formación de vapores blancos, se enfrió el crisol, se filtró y se llevó a volumen de 100 ml.

De estas muestras solubilizadas se tomaron alícuotas, se colocaron en viales de acuerdo a la cantidad de muestra por aspirarse en el aparato y se colocaron en el carrete del Espectrofotómetro de Absorción Atómica para su correspondiente lectura.

Previo a ello, se desarrollaron metodologías de preparación de estándares, nivelación de lámparas, obtención de curvas de calibración y desviación estándar para la determinación de Plomo (Pb) y Arsénico (As), con los mismos métodos de análisis utilizados en las muestras de aguas. Ambas determinaciones se desarrollaron bajo el método con adición de estándar, es decir, dilución y adición de una matriz estándar dentro de cada una de las muestras.

Las concentraciones de las muestras se reportaron en mg/l (anexo: 6, 6A, 7, 8, 9, y 11) (figura 5).



Figura 5. Preparación y digestión de muestras de leche para determinación de metales pesados.

6.6 Metodología estadística

6.6.1 Estadística descriptiva

Los resultados de cada una de las determinaciones de minerales de interés nutricional, calidad del agua de bebida, análisis microbiológico y metales pesados en el agua; como también la concentración de metales pesados obtenidas en las muestras de leche, se tabularon y presentaron como informes de resultados promedios, los cuales fueron comparados con los valores máximos permisibles establecidos en la Norma Salvadoreña Obligatoria de Agua Potable (NSO 13.07.01:08) y para la leche se compararon con los valores establecidos en el CODEX Alimentarius y el Código de MERCOSUR para leche cruda de vaca (anexo 12 y 13).

6.6.2 Comparación estadística

- **Variables en estudio:**
 - **Variables dependientes:**

En el cuadro 9 se presentan cada uno de los parámetros analizados en las muestras de agua y leche, como variables dependientes obtenidas en cada ganadería de las tres zonas y épocas estudiadas.

Cuadro 9. Variables dependientes que se analizaron en las muestras de agua y leche.

N°		En Agua:	En leche:	
1	Metales pesados	Plomo (ppm)	1	Plomo (ppm)
2		Arsénico (ppm)	2	Arsénico (ppm)
3		Cobre (ppm)		
4	Minerales de interés nutricional	Calcio (ppm)		
5		Sodio (ppm)		
6		Zinc (ppm)		
7		Magnesio (ppm)		
8		Hierro (ppm)		
9	Parámetros físicos-Químicos	pH (ppm)		
10		Turbidez (ppm)		
11		Temperatura (°C)		
12		Sólidos Disueltos (ppm)		
13		Dureza (ppm)		
14		Sulfatos (ppm)		
15		Nitratos (ppm)		
16		Cloruros (ppm)		
17	Parámetros Microbiológicos	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)		
18		Coliformes Totales (NMP/100 ml)		
19		Bacterias heterótrofas (UFC/ml)		

Fuente: Elaboración propia.

6.6.3 Prueba Estadística

Para comprobar los efectos de cada uno de los factores (zonas y épocas) en estudio sobre cada una de las variables dependientes tanto en agua como en leche, se realizó una prueba de Shapiro-Wilks dentro del programa Infostat (QQ-plot), para determinar que los valores obtenidos presentan un comportamiento cercano a la curva normal (anexo 14).

En el caso de datos con distribución normal (minerales de interés nutricional, calidad física, química y microbiológica del agua), se les realizó una prueba de “modelo general lineal paramétrica”, utilizando como variables fijas a la época, zona y la interacción entre la época y zona. Además, se aplicó una separación de medias por la prueba LSD de Fisher a través del

Programa Estadístico InfoStat versión 2008, bajo el siguiente modelo matemático: (Di Rienzo *et al.* 2008).

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta

μ = Zona

β_j = Época

γ_{ij} = interacción de la zona y la época

ϵ_{ij} = Error de la interacción de la zona y la época

Para analizar estadísticamente los resultados obtenidos en las determinaciones para metales pesados que presentaron una distribución no normal, tanto para las muestras de agua como de leche, se aplicó una prueba estadística no paramétrica (diferente a la de los parámetros anteriores), de: “Kruskal Wallis”, que permite eliminar la influencia que tienen la abundancia de ceros obtenidos en cada una de las determinaciones.

A cada una de las diferencias entre medias se declararon como significativas con una probabilidad menor o igual al 5% ($p \leq 0.05$) para comprobar la Hipótesis Nula ($H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2 = \bar{X}_3$) o la Hipótesis Alternativa ($H_1: \bar{X}_i \neq \bar{X}_j$).

VII. Análisis y Discusión de resultados

7.1 Muestras de agua

7.1.1 Resultados de los análisis de las muestras de aguas por zonas y ganaderías

- **Minerales de interés nutricional**

Debido a que en el país no existe una Norma de Calidad del Agua para Animales de Producción, en este estudio se ha utilizado la Norma Salvadoreña Obligatoria del Agua Potable (NSO 13.07.01:08), que establece parámetros máximos permisibles para: Calcio (Ca), Sodio (Na), Zinc (Zn) y Hierro (Fe).

Al evaluar la calidad del agua que consume el ganado lechero en los diferentes sistemas de producción de las tres zonas en estudio, se observó que el 100% de las muestras analizadas cumple con los valores máximos permitidos para: Calcio (Ca), Sodio (Na) y Zinc (Zn), establecidos en la Norma Salvadoreña de Agua Potable NSO 13.07.01:08 (cuadro 10).

Cuadro 10. Valores promedio de minerales de interés nutricional en el agua para consumo de ganado lechero en tres zonas de El Salvador.

Zona	Ganaderías	Minerales de interés nutricional			
		Ca (mg/l)	Na (mg/l)	Zn (mg/l)	Fe (mg/l)
1	ganadería 1	40.3	76.875	0.0134	0.0733
	ganadería 2	42.68	52.950	0.0233	0.0519
	ganadería 3	37.69	27.200	0.0313	0.0678
	ganadería 4	36.69	60.575	0.0266	0.0440
	PROMEDIO ZONA 1	39.34b	54.400a	0.0236a	0.0592b
2	ganadería 1	83.20	102.650	0.0138	1.6026
	ganadería 2	165.55	72.967	0.0227	0.5690
	ganadería 3	76.795	38.625	0.0210	0.0205
	PROMEDIO ZONA 2	108.52a	71.414a	0.0191a	0.7307a
3	ganadería 1	28.745	35.050	0.0623	0.0000
	ganadería 2	27.315	26.200	0.0225	0.0408
	ganadería 3	23.965	39.750	0.0175	0.1878
	PROMEDIO ZONA 3	26.675c	33.667b	0.0341a	0.0762b
Valores máximos permisibles por la NSO 13.07.01:08		200	200	5	0.3

*Las comparaciones entre medias de zona se hicieron en columnas, se consideraron diferencias significativas con una $P \leq 0.05$.

Los análisis estadísticos mostraron que existe diferencia estadística por zonas. Con respecto al Calcio, la mayor concentración se presenta en la zona dos (zona Centro) con 108.52 mg/l, con un $p = < 0.0001$. En esa misma zona se presentan las mayores concentraciones de Calcio en promedio por ganaderías, donde la ganadería dos (El Corvejón) presentó la mayor concentración de 165.55 mg/l de Calcio. Para el Sodio, se demuestra que no hay diferencias para la zona uno y dos (Occidente y Centro), a pesar de encontrarse una concentración alta en la ganadería uno (El Conacaste) de la zona dos con 102.650 mg/l. En relación al Zinc, se determinó que no hay diferencias estadísticas entre zonas ($p \leq 0.05$) (anexo 15, 15A, 16, 16A, 17, 17A).

En esta investigación no se encontraron valores fuera de los rangos permitidos para Calcio, Sodio y Zinc que puedan constituir una amenaza a la salud animal, Charlón *et al.* (2011), mencionan que no hay efectos adversos o tóxicos en la salud animal a pesar de que se encuentren concentraciones por arriba de lo permitido para Calcio y Sodio.

Los valores encontrados en esta investigación deberían de ser considerados dentro de las formulaciones de las dietas, ya que las aportaciones de sales minerales pueden ser mayores de las que se necesitan y podría ser una oportunidad para reducir costos de suplementación en las ganaderías de las diferentes zonas estudiadas.

Sager (2000) reportó que el sodio presente en el agua como Cloruro de Sodio (NaCl), no produce efectos adversos en la salud animal ni en la producción cuando estos valores no sobrepasen los 15,000 mg/l, por lo tanto, ninguna de las ganaderías evaluadas en esta investigación tampoco debe de tener problemas con este elemento, ya que presentaron concentraciones por debajo al valor máximo permisible.

Con respecto al Hierro (Fe) se determinó que existe una diferencia estadística entre zonas ($p \leq 0.05$), donde la mayor concentración en promedio por zonas se obtuvo en la zona dos (Centro) con 0.7307 mg/l en comparación a las demás zonas, ese valor alto en promedio se debe a que en la ganadería uno (El Conacaste) y en la ganadería dos (El Corvejón) de esa misma zona presentaron datos mayores al valor máximo permitido por la Norma Salvadoreña Obligatoria del Agua Potable que es de 0.3 mg/l. El valor encontrado en la ganadería El Conacaste fue de

1.6026 mg/l de hierro en el agua, sobrepasando hasta en un 200% al valor máximo permitido. La ganadería El Corvejón presentó concentraciones de 0.5690 mg/l, sobrepasando en un 190% al valor de referencia en la Norma (cuadro 10) (Anexo 18, 18A).

Los resultados obtenidos en estas dos ganaderías indican que éstas pueden presentar los problemas reportados por Hernández *et al.* (2005), quienes mencionan que valores por arriba de la concentración máxima permisible para hierro (0.3 mg/l) producen reducción en el consumo de agua por los animales, disminuye la tasa de concepción, reduce la producción de leche y afecta la calidad de la leche por el sabor a óxido. Es de mencionar, que para reducir la concentración de hierro, la ganadería El Conacaste realiza tratamientos de oxigenación y filtración para oxidar al hierro y precipitarlo como Hidróxido de hierro, el cual fácilmente puede ser filtrado para mejorar la calidad del agua (anexo 19).

- **Calidad físico químico del agua de los abrevaderos para consumo del ganado lechero**

Debido a que en el país no existe una Norma de Calidad del Agua para Animales de Producción, en este estudio se ha utilizado la Norma Salvadoreña Obligatoria del Agua Potable (NSO 13.07.01:08), que establece parámetros máximos permisibles para: pH, Temperatura (T°), Sólidos Totales Disueltos (STD), Turbidez (UNT), Dureza como Carbonatos (CaCO_3), Sulfatos (SO_4^{-2}) y Nitratos (NO_3^{-}).

Los valores promedio de los parámetros de la calidad físico químico del agua de los abrevaderos para consumo del ganado lechero (cuadro 11), muestran que en la ganadería dos (El Corvejón) de la zona dos (Centro), se obtuvieron los valores más altos en Sólidos Totales Disueltos con 799.67 mg/l, los cuales están dentro de los valores máximos permitidos por la Norma NSO 13.07.01:08, mostrando una diferencia estadística entre los promedios por zonas ($P \leq 0.05$) (anexo 20 y 20A).

Cuadro 11. Valores promedio del análisis de la calidad del agua de los abrevaderos para consumo del ganado lechero por zonas.

Zona	Ganaderías	Parámetros Físico-Químicos del agua						
		pH	T° (°C)	STD (mg/l)	Turbidez (UNT)	Dureza total como CaCO ₃ (mg/l)	SO ₄ ⁻² (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)
1	ganadería 1	7.81	22.25	376.00	3.0	260.85	149.63	21.18
	ganadería 2	7.91	21.75	407.50	13.5	279.13	221.44	9.48
	ganadería 3	7.15	22.25	224.88	3.0	168.31	72.53	25.63
	ganadería 4	7.40	22.75	306.50	3.0	177.18	101.59	20.08
	PROMEDIO ZONA 1	7.57	22.25	328.72b	5.6a	221.36a	136.30b	19.09a
2	ganadería 1	7.67	24.25	517.75	10.13	252.09	200.71	13.73
	ganadería 2	7.56	24.67	799.67	8.3	746.75	846.11	8.77
	ganadería 3	7.39	25.25	312.75	1.0	254.13	204.98	22.20
	PROMEDIO ZONA 2	7.54	24.72	543.39a	6.5a	417.66a	417.27a	14.90a
3	ganadería 1	7.43	23.25	151.28	4.25	249.34	53.24	10.95
	ganadería 2	7.11	22.5	151.18	17.75	326.31	64.45	8.53
	ganadería 3	7.00	23.25	170.4	8.25	267.98	162.03	8.60
	PROMEDIO ZONA 3	7.18	23.00	157.62c	10.1a	281.21a	93.24b	9.36b
valores máximos permitidos NSO 13.07.01:08		6.5-8.5		1,000	5	500	400	45

*Las comparaciones entre medias de zona se hicieron en columnas, se consideraron diferencias significativas con una $P \leq 0.05$.

Un parámetro que sobrepasa el valor máximo permisible según la Norma NSO 13.07.01:08 es la Turbidez, la cual se expresa como Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT). Los resultados del cuadro 11 muestran que la ganadería dos (Veleza) de la zona uno (Caluco), la ganadería uno (El Conacaste) y dos (El Corvejón) de la zona dos (Centro), y la ganadería dos (Rancho Escondido) y tres (Texas Ranch) de la zona tres (zona Norte), muestran valores por arriba de lo permisible con: 13.5, 10.13, 8.3, 17.75 y 8.25 UNT, respectivamente; comprobando que no hay diferencia estadística por zonas ($P \leq 0.05$) (anexo 21 y 21A). Aunque estos valores de Turbidez solo miden el nivel de luz que puede pasar a través del agua debido a las partículas coloidales en suspensión, estos valores no producen efectos negativos en la salud del animal ni en la producción, únicamente afectan el aspecto físico y estético del agua, a no ser que existan otros parámetros como olor o un sabor inadecuado por la presencia de sulfuros (Hernández *et al.* 2005).

Marcó *et al.* (2004) sugieren que un valor de turbidez por arriba de lo permisible (5 UNT), puede ser un indicio de contaminación por sedimentación causada por el alimento depositado por el animal, presencia de algas o la mala limpieza de los sistemas de abastecimiento de agua, reduciéndose en cierta medida el consumo de agua por la fermentación de la misma.

Los resultados de la determinación de la dureza del agua, expresada como Carbonatos (CaCO_3) (cuadro 11), mostraron que la ganadería dos (El Corvejón) de la zona dos (Centro) presenta la mayor concentración con 746.75 mg/l, sobrepasando en un 150% al valor máximo permisible a la Norma de Agua Potable NSO 13.07.01:08, que reporta como máximo 500 mg/l, no se encontró diferencia significativa entre los promedios para las zonas para este parámetro ($p \leq 0.05$) (anexo 22 y 22B).

Elizondo (2011) menciona que el máximo de tolerancia de sales totales como Carbonatos que puede soportar un animal adulto es de 1,500 a 1,700 mg/l, pero con valores de alrededor de 5,000 mg/l puede disminuir el consumo del agua y por ende la producción de leche, esto depende de las condiciones y calidad del agua disponible de las diferentes zonas.

La concentración de Sulfatos (SO_4^{2-}) en el agua de los abrevaderos (cuadro 11) reveló que la ganadería dos (El Corvejón) de la zona dos (Centro), es la que presenta las concentraciones más altas (846.11 mg/l), duplicando el valor máximo permitido por la Norma NSO 13.07.01.08, que es de 400 mg/l. No se observó diferencia estadística entre las zonas uno (Occidente) y tres (Norte) para Sulfatos ($p \leq 0.05$) (anexo 23 y 23B).

Según Sager (2000) los sulfatos son las sales que tienen mayor efecto adverso sobre la calidad del agua, debido a la combinación que esta pueda presentar como sulfato de magnesio (MgSO_4) o sulfato de sodio (Na_2SO_4), las cuales provocan propiedades purgantes del agua como también su sabor amargo.

Jarsun (2008) sostiene que el agua de buena calidad para consumo animal debe tener un valor de sulfatos menores a 600 mg/l, por lo que el agua de todas las ganaderías analizadas en esta investigación tienen valores por debajo de este límite, a excepción de la ganadería dos de la zona dos.

Bazán (2006) reporta que las dietas que consume el ganado lechero o de engorde deben de poseer niveles adecuados de calcio y fosforo para reducir los posibles efectos purgantes del agua cuando se presentan altos niveles de sulfatos.

Los análisis realizados (cuadro 11) muestran que la concentración de Nitratos en el agua no sobrepasa el valor de referencia (45 mg/l) establecido por la Norma NSO 13.07.01:08, comprobando que no hay diferencia estadística entre las zonas uno (Occidente) y dos (Centro) ($p \leq 0.05$) (anexo 24 y 24B). Hernández *et al.* (2005) reportan que el valor máximo permisible de nitratos en el agua de consumo para ganado es de 50 mg/l y si los valores exceden a dicha concentración se pueden presentar problemas como diarreas, salivación, temblores y, en casos extremos pueden provocar abortos en las vacas gestantes.

- **Análisis Microbiológico del agua de consumo para el ganado**

Debido a que en El Salvador no existe una Norma sobre la calidad bacteriológica del agua destinada para el consumo de ganado, se usó como referencia la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08, tal y como lo hace un estudio realizado por Adams (1995), quien consideró como valores de referencia los parámetros microbiológicos de la calidad del agua potable.

Los resultados sobre la carga bacteriológica presente en el agua de consumo del ganado lechero de los diferentes hatos ganaderos de las tres zonas que comprendió el estudio, se resumen en el cuadro 12, los cuales fueron comparados con la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua NSO 13.07.01:08, que establece concentraciones máximas permitidas para un Número Más Probable por 100 mililitros de muestra (NMP/100 ml) de Coliformes Fecales, Coliformes Totales y la concentración máxima de Unidades Formadoras de Colonias por mililitro (UFC/ml) para Bacterias Heterótrofas.

La mayor concentración bacteriológica de Coliformes fecales en el agua de consumo para ganado (cuadro 12) se presentó en la zona dos (zona Central) de la ganadería dos (El Corvejón) con 1,366.67 NMP/100 ml, seguido de la ganadería cuatro (Milagro de Quaita) de la zona uno (Occidente) con 1,075 NMP/100 ml y la menor concentración se presentó en la ganadería tres (Texas Ranch) de la zona tres (Norte) con 550.25 NMP/100 ml; sin que existan

diferencias estadísticas entre promedios de zonas para Coliformes fecales ($p \leq 0.05$) (anexo 25 y 25B).

Igual comportamiento se observó para Coliformes Totales y recuento de Bacterias Heterótrofas (cuadro 12), donde se obtuvo la concentración más alta en la ganadería dos (El Corvejón) de la zona dos (Centro) con 1,600 NMP/100 de Coliformes Totales y 532,000 UFC/ml de Bacterias Heterótrofas, seguido de la ganadería cuatro (Milagro de Quaita) de la zona uno (Occidente) con 1,075 NMP/100 ml y 278,250 de UFC/ml para Coliformes Totales y Bacterias Heterótrofas, respectivamente; con la diferencia que la menor concentración se observó en la ganadería dos (Rancho Escondido) de la zona tres (Norte) con 585 NMP/100 ml para Coliformes Totales y con 26,650 UFC/ml para la ganadería tres (Los Gavilanes) en la zona dos (Centro). No existen diferencias estadísticas entre promedios por zonas para dichos parámetros. ($p \leq 0.05$). (Anexo 26, 26B, 27 y 27B).

Cuadro 12. Valores promedio de los resultados de los análisis microbiológicos de las aguas de los abrevaderos de ganado lechero por zonas.

Zona	Ganaderías	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	Coliformes Totales (NMP/100 ml)	Bacterias Heterótrofas (UFC/ml)
1	ganadería 1	816.75	816.25	52,250
	ganadería 2	815	815	203,250
	ganadería 3	808.5	808.5	276,000
	ganadería 4	1,075	1,075	278,250
	PROMEDIO ZONA 1	878.81a	878.69a	202,437.50a
2	ganadería 1	917.5	915	176,000.25
	ganadería 2	1,366.67	1,600	532,000
	ganadería 3	1,025.5	1,025.5	26,650
	PROMEDIO ZONA 2	1,103.22a	1,180.17a	244,883.42a
3	ganadería 1	767.5	942.5	203,200
	ganadería 2	565	585	56,000
	ganadería 3	550.25	947.5	95,200
	PROMEDIO ZONA 3	627.58a	825.00a	118,133.33a
Valores máximos permisibles NSO 13.07.01:08		< 1.1	< 1.1	100

*Las comparaciones entre medias de zona se hicieron en columnas, se consideraron diferencias significativas con una $P \leq 0.05$.

A pesar de observarse variaciones en las concentraciones de cada uno de los parámetros estudiados en la calidad microbiología del agua utilizada como abrevadero en las ganaderías de las tres zonas estudiadas, ninguna de las ganaderías evaluadas cumplió con los requisitos mínimos de carga bacteriológica establecidos en la Norma NSO 13.07.01:08.

Adams *et al.* (1995) y LeJeune *et al.* (2001), citados por Ventura (2006), exponen que el agua que consume el ganado se ve afectada por la contaminación fecal provocada por el mismo animal y reportan concentraciones de 15,000,000 a 50,000,000 de Coliformes totales/100 ml y 10,000,000 de Coliformes fecales/100 ml, cuando el consumo de agua provenga de fuentes superficiales; además, esta incidencia incrementa los casos de diarreas en el hato ganadero.

Los resultados de esta investigación difieren con los valores que reportan Charlón *et al.* (2011) en un ensayo sobre el consumo voluntario de agua en el ganado, quienes estimaron un recuento total de bacterias menor a 10,000 bacterias/ml y menor de 50 Coliformes Totales por 100 ml de agua. Manifestaron que estos animales van a tolerar muy bien la elevada carga bacteriana en el agua de bebida cuando se adaptan paulatinamente a dicha contaminación, pero el exceso de ello puede interferir en el metabolismo ruminal, disminuyendo el consumo de forraje, y por ende, la rumia y la producción. Los resultados de la calidad microbiológica del agua de consumo para ganado en esta investigación estuvieron por arriba de los valores de referencia.

- **Metales pesados**

Los resultados sobre la presencia de metales pesados en el agua de consumo para el ganado (cuadro 13) demuestran que la ganadería dos (El Corvejón) de la zona dos (Centro), mostró la concentración más elevada de Cobre (Cu) en el agua con 0.0210 mg/l, seguido de la ganadería tres (Los Gavilanes) de la misma zona con 0.0188 mg/l, los cuales hacen que la concentración promedio de cobre por zona sea la más alta con respecto a las otras zonas en estudio. Aunque estos valores son relativamente altos entre ganaderías, estas no sobrepasan el valor máximo permitido de cobre en el agua reportado por la Norma NSO 13.07.01:08, que es de 1.3 mg/l. No se encontró diferencia significativa entre promedios por zonas ($p=0.1741$) (anexo 28).

Cuadro 13. Valores promedio de los análisis de metales pesados en aguas para ganado lechero.

Zona	Ganadería	Metales pesados		
		Cu (mg/l)	As (mg/l)	Pb (mg/l)
1	ganadería 1	0.0068	0.0004	0.0000
	ganadería 2	0.0053	0.0007	0.0000
	ganadería 3	0.0128	0.0002	0.0000
	ganadería 4	0.0100	0.0003	0.0000
	PROMEDIO ZONA 1	0.0087a	0.0004b	0.0000a
2	ganadería 1	0.0105	0.0036	0.0008
	ganadería 2	0.0210	0.0117	0.0000
	ganadería 3	0.0188	0.2527	0.0000
	PROMEDIO ZONA 2	0.0168a	0.0893a	0.0003a
3	ganadería 1	0.0040	0.0198	0.0000
	ganadería 2	0.0010	0.0000	0.2518
	ganadería 3	0.0085	0.0019	0.0013
	PROMEDIO ZONA 3	0.0045a	0.0072b	0.0843a
Valores máximos permisibles NSO 13.07.01:08		1.3	0.01	0.01

*Las comparaciones entre medias de zona se hicieron en columnas, se consideraron diferencias significativas con una $P \leq 0.05$.

En un estudio realizado por Hernández *et al.* (2005) sobre el nivel de metales pesados (Cobre) presentes en el agua de bebida para bovinos en producción, mostró que existen variaciones en diferentes países sobre el valor máximo permisible de cobre en el agua de bebida; en ese mismo estudio se compiló una serie de informes como: la Ley General de Aguas del Perú (N° 17752); el Código Administrativo de Nevada del 2000 (USA) y el Concejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente (2002), que reportaron un valor máximo permisible de Cobre en el agua para animales en producción de 0.5 mg/l; considerándose que a partir de valores desde 0.1 mg/l de Cobre puede presentarse un sabor a óxido en el agua que consumen las vacas en producción de leche. Además, ellos afirman que valores por arriba de 0.6 mg/l de cobre pueden causar daños hepáticos irreversibles en las vacas.

Con respecto a la concentración de Arsénico (As) presente en el agua de consumo (cuadro 13), se encontró que la ganadería tres (Los Gavilanes) de la zona dos (Centro), presentó el nivel de Arsénico más alto con 0.2527 mg/l, sobrepasando en un 2,000% al valor máximo permisible en la Norma NSO 13.07.01:08 que es de 0.01 mg/l; se encontró diferencia estadística para el promedio global de las ganaderías de la zona dos ($p \leq 0.05$) (anexo 29).

Ese grado de contaminación de Arsénico puede tener una relación con lo expuesto por Sager (2000), quien reportó que el Arsénico es un elemento altamente contaminante, que forma sales solubles en el agua y puede estar presente en el agua cuando exista una contaminación puntual con pesticidas o desechos industriales; pero también, puede atribuirse a una contaminación natural por aquellos suelos de origen volcánico joven. Además, este mismo autor menciona que el nivel máximo de Arsénico permisible en el agua para humanos es de 0.01 mg/l y para consumo animal de 0.02 mg/l.

Hernández (2005) compila en una tabla las patologías más comunes asociadas a sustancias químicas presentes en el agua de consumo por el ganado y expone que las concentraciones altas de Arsénico reducen el consumo de alimento, debilidad, temblores, convulsiones, diarrea y gastroenteritis hemorrágica.

En relación a la concentración de Plomo (Pb) presente en el agua de consumo para el ganado, en el cuadro 13 se muestra una presencia alta de este elemento, ya que en la ganadería dos (Rancho Escondido), de la zona tres (Zona Norte), la concentración de Plomo es de 0.2518 mg/l, sobrepasando en un 2,000% el valor máximo permisible por la Norma NSO 13.07.01:08; se determinó diferencia estadística entre promedios por zonas ($p \leq 0.05$) (anexo 30).

Sager (2000) reportó que el plomo es muy poco frecuente encontrarlo en el agua, a no ser que las fuentes de agua se encuentren cercanas a yacimientos minerales que inyecten una alta contaminación al agua, por lo que es necesaria una evaluación más exhaustiva y periódica del agua para determinar la presencia de este elemento o descartar una posible contaminación cruzada. También hay que considerar otras fuentes de contaminación cruzada por plomo, que pueden ser atribuidas a los baldes corroídos, abrazaderas o soldaduras de los sistemas de ordeño de mala calidad, entre otros.

Los valores de Plomo (0.01 mg/l) utilizados como referencia en este estudio varían con los valores utilizados por Hernández *et al.* (2005), quien reportó un valor máximo permisible de Plomo (Pb) de 0.1 mg/l.

7.1.2 Resultados de los Análisis de las muestras de agua por época

- **Minerales de interés nutricional**

El cuadro 14 muestra los resultados de los análisis realizados en el agua referente a los minerales de interés nutricional (Calcio, Sodio, Zinc y Hierro) por épocas (seca y lluviosa). La mayor concentración de Calcio (Ca) se presentó en la época lluviosa con 92.96 mg/l, sin que sobrepase la concentración máxima permisible por la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08, y la menor concentración se obtuvo en la época seca con 17.69 mg/l. Observándose que entre épocas hay una leve disminución en la concentración de este mineral; no se observan diferencias estadísticas entre promedios por épocas estudiadas ($p \leq 0.05$) (anexo 31).

Cuadro 14. Concentraciones de Minerales de interés nutricional de las aguas de consumo para ganado lechero por época.

Época	Zona	Minerales de interés nutricional			
		Ca (mg/l)	Na (mg/l)	Zn (mg/l)	Fe (mg/l)
Lluviosa	1	31.22	52.2	0.0349	0.0132
	2	92.96	99.14	0.0177	0.9968
	3	27.8	20.22	0.0287	0.0324
PROMEDIO		50.660a	57.187a	0.027a	0.347a
Seca	1	38.78	40.85	0.0078	0.0919
	2	85.64	55.08	0.0103	0.9438
	3	17.69	26.7	0.036	0.12
PROMEDIO		47.370a	40.877a	0.018a	0.385a
NSO 13.07.01:08		200	200	5.0	0.3

*Las comparaciones entre medias de épocas se hicieron en columnas, se consideraron diferencias significativas con una $P \leq 0.05$.

La concentración de Sodio (cuadro 14) no sobrepasó los valores límites establecidos por la Norma de Agua Potable NSO 13.07.01:08, mostrando que entre promedios de épocas no se encontraron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$), a pesar de que en la época lluviosa se presentó la mayor y la menor concentración de Sodio con 99.14 mg/l y 20.22 mg/l, respectivamente (anexo 32).

Las variaciones de las concentraciones de Zinc entre épocas son casi similares, con excepción de la época lluviosa que presenta una concentración de 0.0287 mg/l, la cual se considera alta con respecto a las demás de esa época (cuadro 14), pero siempre esas concentraciones están

por debajo de los límites máximos permisibles por la Norma de Agua Potable NSO 13.07.01:08, observándose que no hay diferencia estadística entre épocas ($p \leq 0.05$) (anexo 33).

En el caso del Hierro (Fe), a pesar de observarse altas concentraciones en la época seca con 0.9968 mg/l, como en la época lluviosa con 0.9438 mg/l, estas concentraciones sobrepasan en un 330% al valor máximo permisible por la Norma NSO 13.07.01:08 y provocan que los promedios entre épocas se incrementen, pero siempre se observa que esos promedios están dentro del máximo permisible por la Norma, demostrando que para este parámetro no hay diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) (anexo 34).

Hernández *et al.* (2005) mencionan que valores por arriba de la concentración máxima permisible para hierro (0.3 mg/l) producen una reducción en el consumo de agua por los animales y en la tasa de concepción.

Sager (2000) considera que la disponibilidad de agua depende de la época, además, la concentración de algunos parámetros se incrementa en la época seca y disminuyen en la época lluviosa por efecto de la dilución, tipo de suelo, entre otros aspectos, por lo que es necesario efectuar un buen muestreo. Los resultados de Sager no coinciden con los resultados de este estudio, ya que estos parámetros se comportaron de igual forma en ambas épocas analizadas.

Holter y Urban (1992), citados por Elizondo (2007), determinaron que el mayor estrés fisiológico y la pérdida de la condición corporal de los animales se producen durante la época seca y en climas calientes, perdiéndose agua por evapotranspiración hasta en un 18%. Por otro lado, las dietas ricas en sal, bicarbonato de Sodio o proteína, estimulan el consumo de agua durante la época seca. A pesar de que en esta investigación no se evaluó el estrés fisiológico, pero dadas las condiciones de las instalaciones ganaderas y las épocas en las que se evaluó la calidad del agua durante la época seca y lluviosa, los resultados de esta investigación tienen relación con lo expuesto por Holter y Urban, ya que se desarrolló en los periodos de estrés calórico de la época seca y las dietas que se proporcionan en estas ganaderías son ricas en minerales o suplementos, los cuales incrementan el consumo de agua.

- **Calidad físico-química del agua en los abrevaderos para ganado lechero**

Los valores de pH del agua analizada en la época seca y lluviosa (cuadro 15) están dentro del rango permisible en la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08.

Charlón *et al.* (2011) mencionan que el pH no se considera un problema, pero los valores bajos pueden afectar la disolución de medicamentos en el agua, cuando esta es utilizada como vía de administración, además, pueden incrementar la incidencia de acidosis.

Cuadro 15. Valores promedio del análisis de calidad del agua potable para consumo de ganado lechero por época.

Época	Zona	Calidad del Agua						
		pH	T° (°C)	STD (mg/l)	Turbidez (UNT)	Dureza total como CaCO ₃ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)
Lluviosa	1	6.54	19.25	269.81	7	185.14	126.51	14.88
	2	6.63	19.29	456.43	8.43	279.61	310.39	13.33
	3	5.84	20.17	127.3	5	342.97	44.07	6.12
PROMEDIO		6.34a	19.57a	284.51a	6.81a	269.24a	160.32a	11.44a
Seca	1	6.69	20.38	305.38	4	211.56	109.69	19.74
	2	6.51	23.75	504.75	6.13	357.47	281.39	9.73
	3	6.04	18.33	120.05	14	73.12	53.43	10.57
PROMEDIO		6.41a	20.82a	310.06a	8.04a	214.05a	148.17a	13.35a
NSO 13.07.01:08		6.5-8.5		1,000	5	500	400	45

*Las comparaciones entre medias de épocas se hicieron en columnas, se consideraron diferencias significativas con una $P \leq 0.05$.

Los resultados de los parámetros Sólidos Totales Disueltos, Dureza como Carbonatos, Sulfatos y Nitratos, del agua para consumo del ganado lechero para la época seca y lluviosa (cuadro 15), muestran que el 100% de estos parámetros están dentro del rango permisible por la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08. No se encontró diferencia estadística significativa entre los promedios de cada época para cada uno de los parámetros antes mencionados ($p \leq 0.05$) (anexos 35, 36, 37 y 38).

La concentración más alta de Nitratos se encontró en la época seca con 19.74 mg/l, pero el promedio obtenido siempre estuvo dentro de los rangos permisibles por la Norma NSO

13.07.01:08. Por otro lado, la época que presenta la menor concentración de Sólidos Totales Disueltos (STD) con respecto a las épocas estudiadas fue la época seca con 120.05 mg/l; de igual manera se comporta la Dureza en el agua para la misma época con 73.12 mg/l. (cuadro 15).

La menor concentración de Sulfatos y Nitratos en el agua se obtuvo en la época lluviosa con 44.07 mg/l y 6.12 mg/l, respectivamente (cuadro 15), mostrando que no existe diferencia significativa entre épocas para los parámetros mencionados ($p \leq 0.05$) (anexo 37 y 38).

Sager (2000) menciona que concentraciones por arriba de 700 mg/l de sulfatos serían causantes de diarrea en los animales, las cuales se observan con frecuencia en verano.

Este estudio difiere con lo expuesto por Bazán (2006), quien dice que la concentración de nitratos en las aguas que consume el ganado se incrementa durante la época lluviosa y disminuye en la época seca, además, si estas concentraciones sobrepasan el valor máximo permisible de nitrato en el agua, el nitrógeno de la dieta se desdobra en el organismo, convirtiéndose a nitrato y este a nitrito, afectando el consumo de alimentos por la incidencia de estreñimiento en el ganado que consume esta agua. Por lo que las ganaderías evaluadas en este estudio no presentarían este tipo de problema; ya que, las concentraciones obtenidas de nitratos estuvieron por debajo al valor de referencia a la Norma.

Los datos de turbidez tanto en época lluviosa como en época seca (cuadro 15) mostró que no cumplen con los valores permisibles por la Norma NSO 13.07.01:08, ya que la época seca presentó la mayor concentración de turbidez en el agua con 14 Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT), evidenciando que no hay variación estadística con el valor de referencia por épocas ($p \leq 0.05$) (anexo 39), lo cual puede atribuirse a la contaminación generada por la sedimentación provocada por el alimento depositado por los animales durante la bebida del agua en los abrevaderos o por falta de limpieza de los abrevaderos (Marcó *et al.* 2004).

Charlón *et al.* (2011), reportan que la concentración de turbidez en el agua puede incrementarse por la presencia de algún mineral como hierro y magnesio, tal como se observó en este estudio, donde la ganadería uno de la zona dos (Centro) se encontraron altos niveles de hierro, que pueden sobreestimar dicho parámetro.

- **Análisis Microbiológico**

En el cuadro 16 se presentan los resultados de los análisis microbiológicos realizados al agua de consumo para el ganado lechero durante la época seca y lluviosa, para las tres zonas en estudio, los cuales demuestran que el 100% de las muestras analizadas durante las dos épocas están por arriba del rango máximo permitido para Coliformes Fecales, Coliformes Totales y Bacterias Heterótrofas, por la Norma Salvadoreña Obligatoria del Agua Potable NSO 13.07.01:08.

Cuadro 16. Valores promedio del análisis microbiológico de las aguas para consumo de ganado lechero por época.

Época	Zona	Microbiológico		
		Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	Coliformes Totales (NMP/100 ml)	Bacterias Heterótrofas (UFC/ml)
Lluviosa	1	814.38	809.5	94,375
	2	1,022.86	965.71	172,857.29
	3	876.67	876.67	77,266.67
PROMEDIO		904.64a	883.96a	114,832.99b
Seca	1	805.75	810.38	205,500
	2	735.25	870.25	231,325.13
	3	293.33	423.33	120,000
PROMEDIO		611.44b	701.32b	185,608.38a
Valores Máximos permisibles de agua potable (NSO 13.07.01:08)		< 1.1	< 1.1	100

*Las comparaciones entre medias de zona se hicieron en columnas, se consideraron diferencias significativas con una $P \leq 0.05$.

La mayor carga microbiológica promedio para Coliformes Fecales entre épocas se presentó en la época lluviosa con 904.64 Número más Probable por 100 ml (NMP/100 ml) y la menor carga se dio en la época seca con 611.44 NMP/100 ml de Coliformes Fecales. Mismo comportamiento sucede para Coliformes Totales con 883.96 NMP/100 ml para la época lluviosa y 701.32 NMP/100 ml durante la época seca. La mayor carga promedio de Bacterias heterótrofas se presenta en la época seca con 185,608.38 Unidades Formadoras de Colonias por mililitro de Bacterias Heterótrofas (UFC/ml). La menor carga microbiológica se presenta en la época seca con 114,832.99 UFC/ml de Bacterias Heterótrofas en la época lluviosa, mostrando que existe una diferencia estadística entre épocas para cada parámetro estudiado

($p \leq 0.05$), evidenciando que la época no disminuye la carga microbiológica del agua, ya que siempre estuvieron por arriba del valor de referencia establecido en la NSO 13.07.01:08 (anexo 40, 41 y 42), lo cual puede atribuirse a la contaminación del alimento por los animales, las deyecciones de los animales cerca o sobre los abrevaderos, o a la anidación de aves en los árboles de los alrededores (anexo 43).

Adams *et al.* (1995) determinaron que si la calidad del agua para consumo animal proviene de fuentes de aguas superficiales y esta sobrepasa los valores máximos permisibles (1.0 NMP/100 ml) para Coliformes fecales y Totales, se presentarán mayores incidencias de diarrea, ocasionando gastos en los hatos ganaderos para controlar dicha ocurrencia.

- **Metales pesados en el agua por época**

Los datos del cuadro 17 muestran el comportamiento de los metales pesados determinados en las muestras de agua obtenidas de los abrevaderos para consumo del ganado lechero, en las diferentes zonas del estudio, en la época lluviosa y seca. Se observó que a pesar de tener una concentración alta de Cobre (Cu) en la época seca con 0.0181 mg/l, todas las muestras analizadas están por debajo de la concentración máxima permisible para este parámetro según la Norma Salvadoreña Obligatoria del Agua Potable NSO13.07.01:08, determinándose que existe una diferencia estadística significativa entre épocas ($p \leq 0.05$) (anexo 49).

Cuadro 17. Valores promedio de los análisis de metales pesados en agua para consumo de ganado lechero por época.

Época	Zona	Metales pesados		
		Cu (mg/l)	As (mg/l)	Pb (mg/l)
Lluviosa	1	0.0000	0.0000	0.0000
	2	0.0000	0.1476	0.0009
	3	0.0000	0.0067	0.0020
PROMEDIO		0.0000b	0.0514a	0.0010a
Seca	1	0.0174	0.0007	0.0000
	2	0.0278	0.0052	0.0000
	3	0.0090	0.0078	0.1667
PROMEDIO		0.0181a	0.0046a	0.0556a
Valor máximo permisible NSO 13.07.01:08		1.3	0.01	0.01

*Las comparaciones entre medias de épocas se hicieron en columnas, se consideraron diferencias significativas con una $P \leq 0.05$.

Existen muchas variaciones en cuanto al valor máximo permitido para Cobre, ya que en el 2001, investigaciones realizadas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), reportó que el valor máximo permisible para Cobre en el agua es igual a la concentración determinada por la Norma Salvadoreña Obligatoria del Agua Potable NSO 13.07.01:08, con 1.3 mg/l. El NRC (National Research Council) en el 2001 determinó que la concentración máxima para cobre en el agua de consumo para ganado bovino debe ser 0.5 mg/l.

Los resultados del cuadro 17 referente a los análisis de Arsénico (As) y Plomo (Pb) en el agua de consumo para ganado en promedios por épocas, muestran que en la época lluviosa se obtuvo la mayor concentración de Arsénico con 0.051 mg/l; para Plomo la mayor concentración fue en la época seca con 0.0556 mg/l. Esas concentraciones de arsénico y plomo sobrepasaron al valor máximo permisible establecido en la Norma Salvadoreña Obligatoria del Agua Potable, que es de 0.01 mg/l para ambos elementos, mostrando que no hay diferencia estadística entre promedios por épocas para Arsénico y Plomo ($p \leq 0.05$) (anexos 45 y 46).

Pérez y Fernández (2004) manifiestan que la concentración de Arsénico puede atribuirse a las condiciones geológicas naturales del suelo, que pueden sobre valorar dicho dato con una alta concentración de este elemento en el agua por ser de origen volcánico.

Datos de Arsénico de la EPA (2001) y de la Norma Salvadoreña Obligatoria del Agua Potable NSO 13.07.01:08 reportan una concentración máxima de 0.01 mg/l; sin embargo, el NRC (2001) y el CWQG (1987), reportan que el ganado fácilmente puede soportar concentraciones máximas de 0.2 a 0.5 mg/l de Arsénico y 0.1 mg/l de Plomo en el agua de consumo, sin ningún daño a la salud animal, a la producción, ni a la calidad de la leche.

7.2 Muestras de leche

7.2.1 Resultados de metales pesados en la leche por zonas y ganaderías

Los resultados en el cuadro 18 muestran la concentración de metales pesados en la leche, producida en las diferentes ganaderías de las tres zonas en estudio, se observa que a pesar de tener una concentración relativamente alta de Arsénico la ganadería dos (El Corvejón) de la

zona dos (Centro), con 0.0017 mg/l y una concentración de Plomo de 0.0038 mg/l para la ganadería uno (Cooperativa Juan Chacón) de la zona tres (Norte), el 100% de las muestras de leche analizadas están por debajo del parámetro máximo permisible establecido por el CODEX *Alimentarius* y el Código de MERCOSUR para Arsénico (As) y Plomo (Pb), con valores de 0.05 mg/l y 0.02 mg/l, respectivamente.

Cuadro 18. Valores promedio de metales pesados en la leche por ganadería en las tres zonas estudiadas.

Zona	Ganaderías	Metales	
		As (mg/l)	Pb (mg/l)
1	ganadería 1	0.0006	0.0000
	ganadería 2	0.0004	0.0000
	ganadería 3	0.0007	0.0000
	ganadería 4	0.0005	0.0000
	PROMEDIO ZONA 1	0.0005a	0.0000a
2	ganadería 1	0.0006	0.0000
	ganadería 2	0.0017	0.0000
	ganadería 3	0.0000	0.0000
	PROMEDIO ZONA 2	0.0007a	0.0000a
3	ganadería 1	0.0000	0.0038
	ganadería 2	0.0000	0.0000
	ganadería 3	0.0008	0.0000
	PROMEDIO ZONA 3	0.0003a	0.0013a
Límite máximo permisible CODEX <i>Alimentarius</i> y Código de Mercosur		0.05	0.02

*Las comparaciones entre medias de zona se hicieron en columnas, se consideraron diferencias significativas con una $P \leq 0.05$.

Además, se muestra que no existe diferencia estadística significativa entre ganaderías y las zonas estudiadas ($p \leq 0.05$) (anexo 47 y 48).

González *et al.* (2006) realizaron un estudio sobre la cantidad de plomo y cadmio presente en la leche de bovinos en diferentes granjas de Asturias, España, una zona de gran actividad minera e industrial, determinando que la concentración de plomo encontrado en la leche fue de 0.00071 mg/l y 0.01606 mg/l para cadmio, los cuales estuvieron por debajo de lo permisible para productos lácteos según el CODEX *Alimentarius* (0.02 mg/l para plomo).

7.2.2 Resultados de metales pesados en la leche por época

Los resultados del cuadro 19 resumen los valores obtenidos de la concentración promedio de metales pesados en la leche en las épocas lluviosa y seca, de las tres zonas estudiadas. Se obtuvo en la época seca de la zona dos (Centro), la concentración más alta de Arsénico con 0.0015 mg/l, seguido de la zona uno (Occidente) con 0.0011 mg/l. El análisis estadístico determinó que si hay diferencia estadística entre los promedios por épocas para este parámetro ($p \leq 0.05$) (anexo 49).

Cuadro 19. Valores promedio de las determinaciones de metales pesados en leche por época seca y lluviosa según zona la estudiada.

Época	Zona	Metales	
		As (mg/l)	Pb (mg/l)
Lluviosa	1	0	0
	2	0	0
	3	0.0005	0
PROMEDIO		0.0002b	0.0000a
Seca	1	0.0011	0
	2	0.0015	0
	3	0	0.0025
PROMEDIO		0.0009a	0.0008a
Límite máximo permisible CODEX <i>Alimentarius</i> y Código de Mercosur		0.05	0.02

*Las comparaciones entre medias de zona se hicieron en columnas, se consideraron diferencias significativas con una $P \leq 0.05$.

Además, en la época seca de la zona tres (Norte) se obtuvo una única concentración de plomo (Pb) con 0.0025 mg/l, sin que exista diferencia estadística significativa en promedio por épocas para este parámetro (anexo 50). Al comparar las concentraciones obtenidas con los valores máximos permisibles para Arsénico (0.05 mg/l) establecidos por el Código de MERCOSUR, y para Plomo (0.02 mg/l), establecidos por el CODEX *Alimentarius*, el 100% de las muestras analizadas estuvieron por debajo de los rangos máximos.

Los resultados de éste estudio coinciden con la investigación realizada por Ayala *et al.* (2013), quienes determinaron la presencia de metales pesados (Arsénico y Mercurio) en el agua de bebida para el ganado bovino y en la leche producida en las zonas del cantón Arenillas de la Provincia Ecuatoriana, mostrando que el mercurio excedió en 2,2 veces el valor establecido

por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008 con 0,005 mg/l en su media; mientras que el arsénico que fue encontrado en agua y en leche, no sobrepasó en ningún caso el valor de 0,015 mg/l que es el límite permitido por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008.

VIII. Conclusiones

- El 100% de las muestras de agua analizadas para consumo animal en las diferentes ganaderías de las tres zonas y épocas en estudio, cumplieron con los valores máximos permisibles para Calcio, Sodio, Zinc y Cobre, establecidos en la Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua Potable NSO 13.07.01:08.
- Existen concentraciones de Plomo y Arsénico que sobrepasaron los límites máximos de referencia a la Norma Obligatoria para Agua en las ganaderías de las zonas Central y Norte en ambas épocas.
- El nivel de hierro en el agua es alto en dos ganaderías de la zona central, donde sobrepasó en cerca de 200 a 500 veces al valor de referencia de la Norma para Agua Potable.
- Las aguas de bebida cumplieron con los parámetros físico-químicos de la Norma: pH, Sólidos Totales Disueltos, Dureza, Nitratos, Calcio, Sodio, Zinc, sin embargo, se encontró valores que sobrepasaron a los límites permisibles para Turbidez, Sulfatos y Hierro.
- Todas las muestras analizadas en el agua de bebida para ganado lechero, sobrepasaron los límites de referencia a la NSO 13.07.01:08 para las concentraciones de Coliformes Fecales, Coliformes Totales y Bacterias Heterótrofas, lo cual sugiere deficiencias en la higiene de los bebederos o contaminación de las fuentes.
- Los resultados de los análisis del agua de bebida demuestran que la concentración y variación de los parámetros físicos-químicos (Sodio, Zinc y Hierro), microbiológicos (Coliformes Fecales, Coliformes Totales y Bacterias Heterótrofas) y los metales pesados (Plomo, Arsénico y Cobre) tanto en agua como en la leche, no tienen una relación estadística entre épocas y zonas.
- Las muestras de leche analizadas en este estudio no sobrepasaron las concentraciones límite establecidas para Arsénico y Plomo por el CODEX *Alimentarius* y el Código de

MERCOSUR, a pesar de que se encontró casos de niveles relativamente altos de estos metales en el agua de bebida.

IX. Recomendaciones

- Desarrollar monitoreos continuos y periódicos cada año de minerales nutricionales que consume el ganado lechero según establece la Norma, para generar tablas de composición nutricional que puedan servir de referencia para la formulación de dietas.
- Las ganaderías deben realizar el aseo y la limpieza de los abrevaderos de agua con una frecuencia semanal y hacer uso de “educadores” para que los animales consuman el agua adecuadamente, además de evitar la luz solar y las deyecciones de aves por medio de techos adecuados.
- Establecer planes de mantenimiento de los abrevaderos, de los depósitos para el transporte y almacenamiento de agua y leche, ya que materiales comerciales de mala calidad podrían ser los causantes del incremento en la concentración de algunos metales pesados.
- Para mejorar la calidad del agua en las ganaderías se deben de implementar técnicas como la oxigenación, floculación, la filtración del agua y cloración, lo que permitirá reducir la concentración de elementos como el hierro, disminuir la turbidez y las concentraciones de otros parámetros químicos como los sulfatos y la contaminación bacteriana.
- Para estudios posteriores incluir otras variables físicas, químicas y microbiológicas que permitan determinar la calidad del agua y de la leche, ya que se determinó que existen muchas variaciones en la concentración de los parámetros.
- Realizar monitoreos continuos de los materiales y equipos de los sistemas de ordeño, para evitar contaminación química cruzada proveniente de estos y que puede afectar la calidad de la leche.
- Desarrollar monitoreos continuos y periódicos para verificar la calidad de la leche que se produce en las diferentes ganaderías del país, en cuanto al contenido de metales pesados.

X. Bibliografía

ACUA (Asociación Comunitaria Unida por el Agua y la Agricultura, SV). 2011. Plan de manejo de la Cuenca Estero San Diego. Fortalecimiento de las Capacidades Locales para la gestión ambiental de la Cuenca Estero San Diego, Departamento de La Libertad, El Salvador. p 43-49, 143.

Adams, RS. 1995. Calidad del agua para el consumo del ganado. Departamento de lechería y Zootecnia de la Universidad Estatal de Pensilvania (USA). Colegio de Ciencias Agrícolas, Extensión Cooperativa. 7 p (en línea). Consultado en marzo de 2013. Disponible en <http://extension.psu.edu/animals/dairy/nutrition/nutrition-and-feeding/water-and-water-quality/water-intake-and-quality-for-dairy-cattle>.

Alais, Ch. 2003. Ciencia de la Leche. Principios de Técnica Lechera. Editorial Reverte, S.A. España. p. 3-15, 431 (en línea). Consultado en Marzo de 2014. Disponible en <http://www.lectura-online.net/libro/ciencia-de-la-leche-principios-de-t-lechera-pdf>.

Andreu, ME; Camacho, GA. 2002. Recomendaciones para la toma de muestras de agua, biota y sedimentos en humedales Ramsar. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. 226 p.

AOAC (Asociación Oficial de Químicos y Analistas, US). 1980. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. Sampling of Plants. 30ª edición. BOX 540, Benjamin Franklin Station. Washinton DC. p. 238.

AOAC (Asociación Oficial de Químicos y Analistas, US). 1980. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. Sampling of Dairy Products. 30ª edición. BOX 540, Benjamin Franklin Station. Washinton DC. p. 238.

ATDSSDR. (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, ES) 2007. Reseña toxicológica del plomo (en línea). Consultado en mayo 2014. Disponible en http://www.atsdr.cdc.gov/es/cscm/plomo/es_pb_plomo.htm.

Ayala, AJ; Romero, BH. 2013. Presencia de Metales pesados (Arsénico y Mercurio) en la leche de vaca al Sur del Ecuador. Centro de Investigaciones Químicas y Tecnológicas. p. 36-43 (en línea). Consultado en Agosto de 2014. Disponible en <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8836>.

Aznar, JA. 2000. Determinación de los parámetros físicos y químicos de las aguas. Instituto tecnológico de química y materiales. Universidad Carlos III. Madrid, España. p 1-12 (en línea). Consultado en Junio de 2014. Disponible en <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>.

Bazán, NM. 2006. Manual de manejo de los recursos hídricos para áreas de Secano. Serie: Zonas Áridas y Semiáridas N° 13, Santiago, Chile. pp. 12-23. 111 p (en línea). Consultado 4 de Agosto de 2013. Disponible en www.argcapnet.org.ar/.../manejo%20integral%20del%20agua%20en%20.

BIOTEC (Ingeniería en Biotecnología Ambiental, SV). 2004. Estudio de la calidad de las aguas superficiales de los principales ríos del área de influencia del PRODAP II. Informe final. San Vicente, El Salvador. 115 p.

Bonilla, TB; Carranza, EF; Flores, TJ. 2010. Formulación de una guía metodológica estandarizada para determinar la calidad ambiental de las aguas de los ríos de El Salvador, utilizando insectos acuáticos. Metodología Analítica para la determinación del Índice de calidad del agua (ICA). Universidad de El Salvador, El Salvador. UES-OEA. 66 p.

Cánepa de Vargas, L; Maldonado, YV; Barrenechea, MA; Aurazo de Zumaueta, M. 2004. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: +Teoría (en línea). Fecha de acceso: 10 de octubre de 2014. Disponible en <http://hdl.handle.net/123456789/623>.

Cargua Chávez, JC. 2010. Determinación de las formas de cobre, cadmio, níquel, plomo, zinc su biodisponibilidad en los suelos agrícolas del Litoral Ecuatoriano. Tesis, Universidad Tecnológica Equinoccial, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Santo Domingo Ecuador. pp. 4-6, 17 p.

Chacón, VA. 2009. Evaluación General de la Calidad de la Leche en la Pequeña y Mediana Agroindustria Láctea. Tecnología Láctea Latinoamericana N° 56. Revista Actualidad Zootécnica. Buenos Aires, Argentina. (1):38-47.

Charlón, V; Taverne, MA; Herrero, MA. 2011. Agua en el tambo. El agua como Nutriente (en línea). Consultado 4 Sept. 2013. Disponible en http://www.aprocal.com.ar/wp-content/uploads/El_agua_en_el_tambo.pdf

Ciencia de la Tierra y Medio Ambiente. 2013. Contaminación del agua. Orígenes de la contaminación del agua. Tema 11. Instituto Provincial de Educación Permanente. Editorial Oxford (en línea). Consultado 9 Febrero 2014. Disponible en <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11CAgu/120ProcC.htm>.

Closa, SJ; de Landeta, MC; Andérica, D; Pighin, A; Cufre, JA. 2003. Contenido de nutrientes minerales en leches de vaca y derivados de Argentina. Departamento de Tecnología. Universidad Nacional de Luján. Argentina (en línea). Consultado en junio de 2014. Disponible en http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S000406222003000300016&script=sci_arttext.

CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, SV). 2007. Norma Salvadoreña Obligatoria de agua y agua potable. NSO 13.07.01:08. El Salvador. 20 p.

CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, SV). 2009. Norma Salvadoreña Obligatoria para Aguas residuales descargadas a un cuerpo receptor. NSO 13.49.01:09. El Salvador. 17 p.

CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, SV). 2008. Norma Salvadoreña Obligatoria para Agua y Agua Potable NSO 13.07.01:08. El Salvador. 20 p.

CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, SV). 2008. Norma Salvadoreña Obligatoria para productos lácteos. Leche cruda de vaca. NSO 67.01.01:06. Diario Oficial, especificaciones técnicas. Primera actualización. El Salvador. 10 p.

CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, SV). 2008. Norma Salvadoreña Obligatoria para productos lácteos. Leche Pasteurizada y Ultra pasteurizada con sabor. NSO 67.01.02:06. Diario Oficial, especificaciones técnicas. Primera actualización. El Salvador. 10 p.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua, MX). 2006. Informe técnico de la calidad del agua en diferentes regiones. México. 10 p.

CWQG. (Guía Canadiense de la Calidad del agua potable, CA). 1987. Directrices sobre la calidad del agua para la agricultura (riego y ganadería). 9 p (en línea). Consultado 19 marzo de 2013. Disponible en línea en <http://www.halifax.ca/...sumary.table7.1pdf>.

Dajoz, R. 2001. Tratado de Ecología. 2ª. Edición. Ediciones Mundi-prensa. España. 600 p.

Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2008. Programa Estadístico InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Echarri, L. 2007. Ecología y medio ambiente. Contaminantes del agua. Universidad de Navarra, España (en línea). Consultado 18 de marzo de 2013. Disponible en <http://www.unav.es/.../Tema 8 Contaminacion del agua 07.pdf>.

Elizondo Salazar, J. 2007. El agua Nutriente Olvidado. Estación Experimental Alfredo Volio Mata. Facultad de Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Costa Rica (en línea) Consultado 4 Sept. 2013. Disponible en http://www.academia.edu/2315190/EL_AGUA_Un_nutriente_olvidado.

EPA (Agencia de Protección Ambiental, US). 2006. Normas y Regulaciones de Calidad para Uso del Agua. Manual para el establecimiento de los criterios ambientales de la calidad del Agua. Version 1.1. 52 p (en línea). Consultado 13 de marzo de 2014. Disponible en http://cfpub.epa.gov/watertrain/pdf/modules/Introduccion_a_la_Ley_de_Aqua_Limpia.pdf.

FAO–OMS (Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Organización Mundial de la Salud, IT). 2011. CODEX *Alimentarius* para leche y productos lácteos. 2da. edición. Roma. 265 p.

FAO (Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, CH). 1993. Prevención de la contaminación del agua por la agricultura y actividades afines, Santiago de Chile. 380 p.

Fernández, JA; Ruiz, BF; Linares, L. 2006. Agua y Ciudad en el Ámbito Mediterráneo. Calidad de las agua. España. 600 p.

Frazier, C. 2003. Microbiología de los alimentos. 4ta. Edición. Acribia. Zaragoza, España. p. 331, 373, 385. 564.

González, MJ; Escudero, AS; Bustamante, J; Prieto, F. 2006. Plomo y Cadmio en leche de bovinos de la cuenca del caudal Asturias, España (ES). Metales pesados en carne y leche. Conferencia Internacional de Ganadería Ecológica. Revista Colombiana de Ciencias pecuarias 22:3. Disponible en <http://rccp.udea.edu.co>.

Hernández, MD; Soler, RF; Kammer, M. 2005. Calidad físico química del agua de bebida destinada a los rumiantes. Facultad de Medicina Veterinaria de Cáceres, Universidad de Extremadura, Madrid, España. 29 p.

Horton, HR; Moran, LA; Ochs, RS; Rawn, JD; Scrimgeour, GK. 1995. Bioquímica. 2th. Prentice-Hall Hispanoamericana. Edo. De México. México. p. 1-21.

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, SV). 2011. Caracterización de la cadena productiva de lácteos en El Salvador. El Salvador. MAG-CENTA. 125 p.

Jarsun, RO. 2008. Manual de uso e interpretación de aguas. Calidad del agua para consumo humano y animal. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Córdoba, España. p. 28-38. 44.

Lagger, JR; Mata, HT; Perlin, GH; Larrea, AT; Otrosky, RN; Cesan, RO; Grimier, AG; Meglia, GE. 2000. La importancia de la calidad del agua en producción lechera. Veterinaria Argentina, 17(165):346-354. *Integrantes del grupo de trabajo de la Facultad de Ciencias Veterinarias, UNLPam (en línea). Consultado Diciembre de 2014. Disponible en www.produccion-animal.com.ar.

López, G. 1987. Calidad Química y Contaminación de las Aguas Subterráneas en España. Instituto Tecnológico Geominero. Editorial iberoamericana. p. 70. 175 (en línea). Consultado 22 julio de 2014. Disponible en https://books.google.com.sv/books?id=7anmd1Q40IsC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, SV). 2003. Diagnóstico de los recursos zoonóticos de El Salvador. Ministerio de Agricultura y Ganadería; Oficina de políticas y estrategias, división de análisis estratégico. El Salvador. p. 16-21. 75.

MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, SV). 2010. Dirección General de Economía Agropecuaria. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Anuario de Estadísticas Agropecuarias. El Salvador. p. 30-39. 105.

Magariños, H. 2000. Producción Higiénica de la Leche Cruda, Una Guía Para la Pequeña y Mediana Empresa. Editorial Producción y Servicios Incorporados. GT. 85 p.

Manahan, SE. 2007. Introducción a la Química Ambiental. Editorial Reverte. 1ª Edición. México, D.F. 700 p (en línea). Consultado abril de 2013. Disponible en <http://books.google.com/sv/books?isbn=8429179070>.

Marcó, L; Azario, R; Metzler, C; Garcia, M. 2004. La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). Higiene y Sanidad Ambiental 4: 78-82. (en línea). Disponible en [http://www.saludpublica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc510156890491c_Hig.Sanid.Ambient.4.72-82\(2004\).pdf](http://www.saludpublica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc510156890491c_Hig.Sanid.Ambient.4.72-82(2004).pdf).

MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SV). 2010. Informe de la calidad del agua de los ríos de El Salvador. Servicio Hidrológico Nacional. 74 p (en línea). Consultado 20 mayo de 2013. Disponible en <http://www.snet.gob.sv/ver/hidrologia/monitoreo+hidrologico/calidad+de+agua/calidad+de+agua+2009/>.

Martínez, H. 1999. Análisis de la Ganadería a Nivel Nacional y Propuestas de Solución. Programa de Producción Animal. CENTA. El Salvador (en línea). Consultado Diciembre de 2014. Disponible en <http://www.loscampesinos7.blogspot.com/2009/11/sistemasdeproduccionbovina>.

Martínez, LA; Sánchez, CJ. 2007. Necesidades de agua en el ganado vacuno en leche (en línea). Artículos técnicos. Consultado el 4 Sept. 2013. Disponible en <http://www.engormix.com/MA-ganaderia-leche/nutricion/articulos/necesidades-agua-ganado-vacuno-t1294/141-p0.htm>.

Medina, MSA; Guillen, PR. 2012. Determinación de plomo en leche de ganado bovino en el Cantón Sitio del Niño municipio de San Juan Opico. Tesis Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, San Salvador, El Salvador. 67 p (en línea). Consultado 9 de diciembre de 2014. Disponible en <http://ri.ues.edu.sv/2199/1/13101312.pdf>.

NOVA (Manual de procedimientos de equipos fotométricos) NOVA 60. s.f. Métodos de determinación para: Nitratos (Método 09713); fosfatos (Método 14848), turbidez (Método 077; análogamente en ISO 7027) (en línea). Consultado 10 jun. 2013. Disponible en http://www.amco-instruments.com/index_files/pdf/amnova.pdf.

NRC (National Research Council, US). 2001. Nutrient Requeriments of Dairy Cattle. 7 th. Ed. Washington, D.C. National Academy of Sciences. p. 178-183.

OMS (Organización Mundial de la Salud, PE). 2006. Evaluación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en las Américas. Perú. 33 p.

OPS (Organización Panamericana de Salud, US). 2008. Guía para la Calidad de Agua Potable. Primer apéndice a la tercera edición. Vol. 1. Control de Calidad del Agua Potable en Sistemas de Abastecimiento para pequeñas comunidades. 408 p.

Parra, MM; Martínez, NC. 2008. Protección de las aguas subterráneas. Apuntes sobre las actividades antrópicas que afectan a las aguas subterráneas. Colegio de Hidrogeólogos. Texto proveniente del CONAMA VI, año 2002. p.15-17. 131.

Pérez, CA; Fernández, CA. 2004. Niveles de Arsénico y Flúor en agua de bebida animal en establecimientos de producción lechera. Provincia de Córdoba, Argentina. Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua. Facultad de Ciencias veterinarias. Buenos Aires, Argentina. p. 51-56 (en línea). Consultado: 20 de septiembre de 2014. Disponible en <http://www.fvet.uba.ar/publicaciones/archivos/antperezcarrera.pdf>

Prieto, BC. 2004. El Agua, sus Formas, Efectos, Abastecimientos, Usos, Daños, Control y su Conservación. Ecoediciones, segunda edición Bogotá. Colombia. 280 p.

Prieto, MJ; González, CA; Román, G; Prieto, GF. 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Tropical and Subtropical Agroecosistemas. REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria.vol. 10, núm. 1, 2009, p. 29-44, Universidad Autónoma de Yucatán México. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Sistema de Información Científica (en línea). Consultado 4 de Noviembre de 2014. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>.

Quinteros, NM. 2006. Contaminación y Medio Ambiente en Baja California. Universidad Autónoma de Baja California. México. 256 p.

Ramos Olmos, R. 2002. Calidad del Agua en el Medio Ambiente. Muestreo y Análisis de las aguas. Mexicali, Baja California. 210 p.

Rodríguez, SM. 2003. Determinación de presencia y concentración de metales pesados en leche bronca. Tesis de Licenciatura. Ingeniero en Industrias Alimentarias. Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 86 p.

Rojas, O. 1991. Índices de Calidad del agua en Fuente de Captación. Memorias Seminario Internacional sobre calidad del agua para consumo. Cali, Colombia. ACODAL. 402 p.

Roldan, PG. 2003. Bioindicación de la calidad del agua de Colombia. Ciencia y tecnología. Propuesta para el uso del método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia. p. 1-9.

RTCA (Reglamento Técnico Centroamericano, PE). 2011. Reglamento técnico Centro Americano 67.04.50:08. Alimentos. Criterios microbiológicos para la inocuidad de alimentos. Perú. 34 p.

Rubio, R. 1994. Evaluación de Ecosistemas Acuáticos Contaminados. MAG/SEMA (Ministerio de Agricultura y Ganadería/Secretaría de Medio Ambiente). San Salvador, El Salvador. 16 p (en línea). Consultado 12 Abril de 2013. Disponible en http://www.prisma.org.sv/uploads/media/bol43_la_contaminacion_del_agua_en_ESV.pdf

Sager, RL. 2000. Agua para bebida para bovinos. INTA E.E.A San Luis. Reedición de la Serie Técnica N° 126. Argentina (en línea). Consultado el 5 Sept. 2013. Disponible en <http://www.produccion-animal.com.ar>.

Shimadzu, corporation. s.f. Health Testing Methods Commentary, Japan Pharmaceutical Society Publication, Kanehara Publishing Co. Foodstuffs Analysis Methods, Japan Foodstuffs Manufacturing Society, Foodstuffs Analysis Methods Editorial Commission Publication (Korin Co.).

Shimadzu, Corporation. s.f. Japanese Industrial Standard JIS K-102-1993. Testing methods for industrial waste water Environmental standard concerning water contamination. Sp.

SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, SV). 2004. Evaluación de la contaminación del Río Acelhuate a través de la aplicación de un índice de calidad general durante el año 2003. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). San Salvador, El Salvador. p 8 (en línea). Consultado 20 de Junio de 2013. Disponible en <http://www.snet.gob.sv/noticias/nt20040216.htm>.

SNET (Servicio Nacional de Estudios Territoriales, SV). 2006. Evaluación de la calidad de las aguas de los cuerpos superficiales de El Salvador. Servicio Hidrológico Nacional. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN). El Salvador. 156 p.

Soca, MP; Martínez, SJ; Suarez, FY; Fuentes, CM; Liumar, P. 2006. Evaluación de la calidad del agua superficial y subterránea utilizada para el consumo del ganado bovino en un municipio de provincia Habana REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria, vol. VII, núm. 9. p. 1-13. Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. Sistema de Información Científica (en línea). Consultado 24 junio de 2014. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63612675001>.

Tyler, MG. 1994. Ecología y Medio Ambiente. Introducción a la Ciencia Ambiental, el Desarrollo Sustentable y la Conciencia de la Conservación del Planeta Tierra. Grupo Editorial Iberoamerica, S. A. de C. V. México, D. F. p. 8-12. 867.

Tornadijo, M; Marra, A. 1998. Calidad de la Leche Destinada a la Fabricación de Leche, Calidad Química. Ciencia y Tecnología Alimentaria, Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos, diciembre. Vol. 2. México. p 79-86.

Torres Bermudez, BE. 2008. Análisis de factores que afectan el rendimiento productivo y reproductivo de hembras lecheras bovinas de la zona Norte de El Salvador. Universidad Nacional Sistema de Estudios de Posgrado. Posgrado Regional en Ciencias Veterinarias Tropicales. Tesis Maestría. Costa Rica. 120 p.

Vargas, T. 2000. Calidad de la Leche: Visión de la Industria Láctea (en línea). X Congreso Venezolano de Zootecnia. UCV. VE. Consultado: 7 de Sept. de 2013. Disponible en http://www.cecalc.ula.ve/AVPA/docuPDFs/xcongreso/P297_CalidadLeche.pdf.

Varnan, AH. 1994. Leche y productos lácteos tecnología, química y microbiología. 1^a Edición. Acribia. Zaragoza, España. p 39, 56, 97-98.

Ventura Ríos, J. 2006. Calidad del agua en crianza de becerros Holstein. Tesis Msc. Universidad Autónoma de Chihuahua. Facultad de Zootecnia. Chihuahua, México. Secretaría de Investigación y Posgrado. Tesis. p. 5-20. 84.

Vidaurreta, I. 2012. Validad y disponibilidad del agua para los bovinos en producción. Departamento técnico Vetifarma. Buenos Aires, Argentina. p. 4. 12. 13.

WPCF (Water Pollution Control Federation, US); APHA (American Public Health Association, US); AWWA (American waters works Association, US). 1992. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Métodos estandarizados. 17 Edición. Ediciones Díaz de Santos S.A. Madrid, España. 1816 p.

XI. Anexos

Anexo 1. Análisis físico-químicos realizados a la leche cruda de vaca.

Características	Valor
Acidéz expresada como ácido láctico (porcentaje m/m)	0,14 - 0,17
Proteínas (N x 6.38)	3,2 mínimo
Cenizas (porcentaje m/m)	0,7 promedio
Prueba de reductasa (azul de metileno)	
Grado A	6 horas o más
Grado B	4 horas y menos de 6 horas
Grado C	Menos de 4 horas
Impurezas macroscópicas (sedimento) (en 500 ml)	
Grado A	1,0 mg
Grado B	2,0 mg
Grado C	3,0 mg
Punto de Congelación grados Celsius (° C)	-0,530 a -0,550
pH	6,4 a 6,7
Conteo de Células somáticas por mililitro	Máximo 750,000
Densidad relativa (peso específico)	1,028 a 1,033 a 15°C

Fuente: CONACYT 2006. Norma Salvadoreña Obligatoria para leche cruda de vaca NSO 67.01.01:06.

Anexo 2. Metodología analítica para la determinación de Nitratos

Método: 09713 (Test con reactivos); Equipo: Fotómetro Nova 60

Fundamento.

En solución sulfúrica y fosfórica los iones Nitrato forman 2,6-dimetifenol (DMP), el compuesto 4-nitro-2,6-dimetifenol que se determina fotométricamente. El color de la solución permanece estable 30 minutos después de transcurrido el tiempo de reacción.

El procedimiento es análogo a ISO 7890/1.

Intervalos de medida	1,0 – 25,0 mg/l de N de NO ₃ (“NO ₃ -N”)	4,4 – 110,7 mg/l de NO ₃	cubeta de 10 mm
	0,5 – 12,5 mg/l de N de NO ₃ (“NO ₃ -N”)	02,2 – 55,3 mg/l de NO ₃	cubeta de 20 mm
	0,10 – 5,00 mg/l de N de NO ₃ (“NO ₃ -N”)	0,4 – 22,1 mg/l de NO ₃	cubeta de 50 mm

Procedimiento:

1. Sacar la muestra del refrigerador y llevarla a temperatura ambiente.
2. Mezclar y posteriormente filtrar la muestra con papel filtro Whatman N° 42, con el objeto de eliminar los sólidos suspendidos que puedan interferir con el análisis.
3. Pipetear 4 ml del reactivo NO₃⁻¹ en una cubeta redonda vacía.
4. Añadir 0.50 ml de la muestra filtrada con la pipeta en una cubeta de reacción, no mezclar.
5. Añadir 0.50 ml del reactivo NO₃⁻² con la pipeta, cerrar con la tapa roscada y mezclar. ¡Atención, la cubeta se calienta!.
6. Espere un tiempo de reacción de 10 minutos en las muestras analizadas para generar un complejo coloreado completo.
7. Añadir la solución en la cubeta correspondiente.
8. Introducir la celda de selección del método (la cual contiene la curva de calibración del mismo equipo).
9. Colocar la cubeta en el compartimiento para cubetas del equipo y lea cada una de las muestras respectivamente.

Importante: Dependiendo de la concentración del analito, así se hace necesaria la utilización de cubetas de 1, 2 y 5 cm, tomando en consideración que para cubetas de 2 y 5 cm el volumen de muestras tomadas como de reactivos deben ser el doble.

Anexo 3. Marcha analítica para determinación de minerales y metales pesados por absorción atómica con horno de grafito y generador de hidruros.

(Métodos de Pruebas de Aguas Urbanas 1993, Asociación Japonesa de Suministro de Agua (Japan Waterworks Association)).

1. Método de Análisis por Horno de grafito.

1.1 Elementos objetivo a poder determinar: Aluminio (Al), Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Molibdeno (Mo), Sodio (Na), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Antimonio (Sb), Selenio (Se) y Zinc (Zn).

1.2 Pre-tratamiento de las muestras.

Para: Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, Se y Zn.

Se toman 100 ml de agua muestreada en un frasco de 200 ml (conteniendo ácido nítrico en una proporción de 1 ml por 100 ml), se calienta evitando la ebullición hasta reducir a 8 ml. Después de ser enfriado se lleva a 10 ml con agua. Se prepara un concentrado del líquido de 1/10 y es utilizado para la medición. Si la concentración del elemento objetivo en el concentrado líquido de 1/10 es mayor que el rango de concentración de la curva de calibración, la cantidad de muestra se reduce a menos de 100 ml para disminuir el rango de concentración o el agua muestreada es medida directamente.

2. Método de Análisis por Generador de Hidruros

2.1 Elementos Objetivo: Arsénico (As), Antimonio (Sb) y Selenio (Se).

2.2 Pre-tratamiento de la Muestra para Arsénico (As).

Tomar 100 ml de la muestra y agregar 4 ml de ácido clorhídrico (1+1) y 2 ml solución de Yoduro de Potasio (200 g/l). Calentar sin llegar a ebullición. Después de dejar reposar la solución, llevar la solución a 20 ml con agua y utilizar esta solución para la medición.

2.3 Procedimiento para Arsénico

- **Reactivos**

- Solución Estándar de Arsénico (1 µg As/ml).

Referencia: Sección 2, párrafo 3. Preparación de estándares

- Solución de Tetrahidrobórato de Sodio (0.5% p/v). Disolver 2.5 g de tetrahidrobórato en 500 ml de Hidróxido de Sodio (0.1 mol/l)
- Ácido Clorhídrico.

- **Técnica**

- La muestra pre-tratada es utilizada tal como está.
- Para la curva de calibración se toma de 10 a 40 ng de la solución estándar (1 g/ml As) y se transfiere a varios frascos volumétricos. Se adicionan 4 ml de ácido clorhídrico (1+1) y 2 ml de solución de yoduro de potasio (200 g/l). Luego se calienta sin llegar a ebullición. Llevar a volumen de 20 ml con agua, después de haberse enfriado. Utilizar la solución para su medición.

2.4 Mediciones

El generador de vapores de hidruro (HGV-1) es conectado al espectrofotómetro de absorción atómica para la medición de la muestra.

Arsénico

Longitud de Onda de la Medición: 193.7 nm

Rango de Concentraciones de la Curva de Calibración: 0.5 a 2 ng/ml

Condiciones de medición: Valor de la corriente de la lámpara: 14 mA

Ancho de la rendija: 0.5 nm

Modo de iluminación: BGC-D₂

Anexo 4. Marcha analítica para la determinación de minerales y metales pesados por absorción atómica con horno de grafito y generador de hidruros.

(Métodos de Pruebas de Aguas superficiales 1993. Estándar Industrial Japonés JIS K-102-1993. Métodos de pruebas para aguas de desecho industrial concerniente a la contaminación del agua).

Preservación de la Muestra

A la muestra de agua destinada para la prueba de As se le agrega 2 ml de ácido nítrico o ácido clorhídrico, es preservada a un pH de 1, la cual no debe contener sustancias orgánicas, como sales de nitrato o de nitritos.

Pretratamiento de la Muestra

El pretratamiento es necesario en el caso de que la muestra contenga una sustancia orgánica o que la muestra contenga un elemento a valorar como un coloide o complejo metálico que pueda interferir en el análisis.

El pretratamiento se lleva a cabo por la adición de varios ácidos para la descomposición de la muestra por calentamiento o calcinación por calentamiento, los cuales dependen de la muestra y la prueba a realizar, entre estos se pueden mencionar los siguientes:

a) Ebullición con ácido Clorhídrico o ácido nítrico

Este es aplicado a la muestra, la cual tiene una cantidad de sustancias orgánicas muy pequeñas o suspensiones.

Se agregan 5 ml de ácido nítrico o ácido clorhídrico por cada 100 ml de muestra. Se calienta y se ebulle durante 10 minutos.

1. Método de Análisis con Horno

1.1 Elementos Objetivo: Plomo (Pb)

1.2 Operación de Medición para Plomo

- **Reactivos**

- Solución Estándar de Plomo (0.2 µg Pb/ml)

Referencia **Sección 2. Preparación de solución estándar**

- Solución de Paladio II (10 µg Pd/ml): A 0.108 g de Nitrato de Paladio (II) se agrega 10 ml de ácido nítrico (1+1) para disolverlo. Se lleva a 500 ml con agua. Además, se agrega 20 ml de agua sobre la solución para incrementarla a 200 ml.

- **Técnica:**

1. Tomar 15 ml de la muestra pretratada (cuando la muestra contiene más de 0.1 µg de Pb la cantidad de muestreo se reduce para disminuir la cantidad de Pb por debajo de 0,1 µg) y colocarla en un frasco volumétrico de 20 ml, esta será la solución muestra que no contiene solución estándar de plomo. Preparar otras muestras adicionando tres o más cantidades de solución estándar de plomo en el rango de 0.1 a 2 ml. Adicionar ácido nítrico (1+1) hasta que la concentración de ácido en la solución este equilibrada. Adicionar agua destilada hasta la línea de aforo.
2. La cantidad especificada de 100 ml o más de la muestra utilizada en el paso 1, se coloca en un recipiente pequeño y se adiciona igual volumen de Nitrato de paladio (II), mezclar bien y luego realizar la medición.

- **Lectura**

Longitud de onda de lectura: 283.3 nm

Curva de calibración: 1 – 20 ng/ml

Rango de concentración: Método de adición de estándar.

Tubo: tubo de grafito de alta densidad.

Cantidad de muestra a inyectar de: 20 ml

Anexo 5. Pretratamiento de la muestra de agua con ácido clorhídrico para determinación de minerales y metales pesados por absorción atómica con horno de grafito y generador de hidruros.

Agregar:

- 100 mL de mx
- 5. mL de HCL



- Calentar a ebullición por 10 minutos.



- Filtrar con whatman 42.



Anexo 5A. Secuencia de pretratamiento de la muestra de agua con ácido clorhídrico para determinación de minerales y metales pesados por absorción atómica con horno de grafito y generador de hidruros.



Las muestras preservadas se llevan a temperatura ambiente, se homogeniza invirtiéndolas unas tres veces se toma una alícuota de 100 ml en frasco volumétrico y se coloca en un beaker de 250 ml.



Se les agrega 5 ml de HCl concentrado y se digiere por 10 minutos, se enfría, filtra y se lleva a volumen de 100 ml.



Se colocan en recipientes previamente codificados para su posterior lectura.



Las muestras se preparan con sus respectivos estándares para cuantificación del elemento.

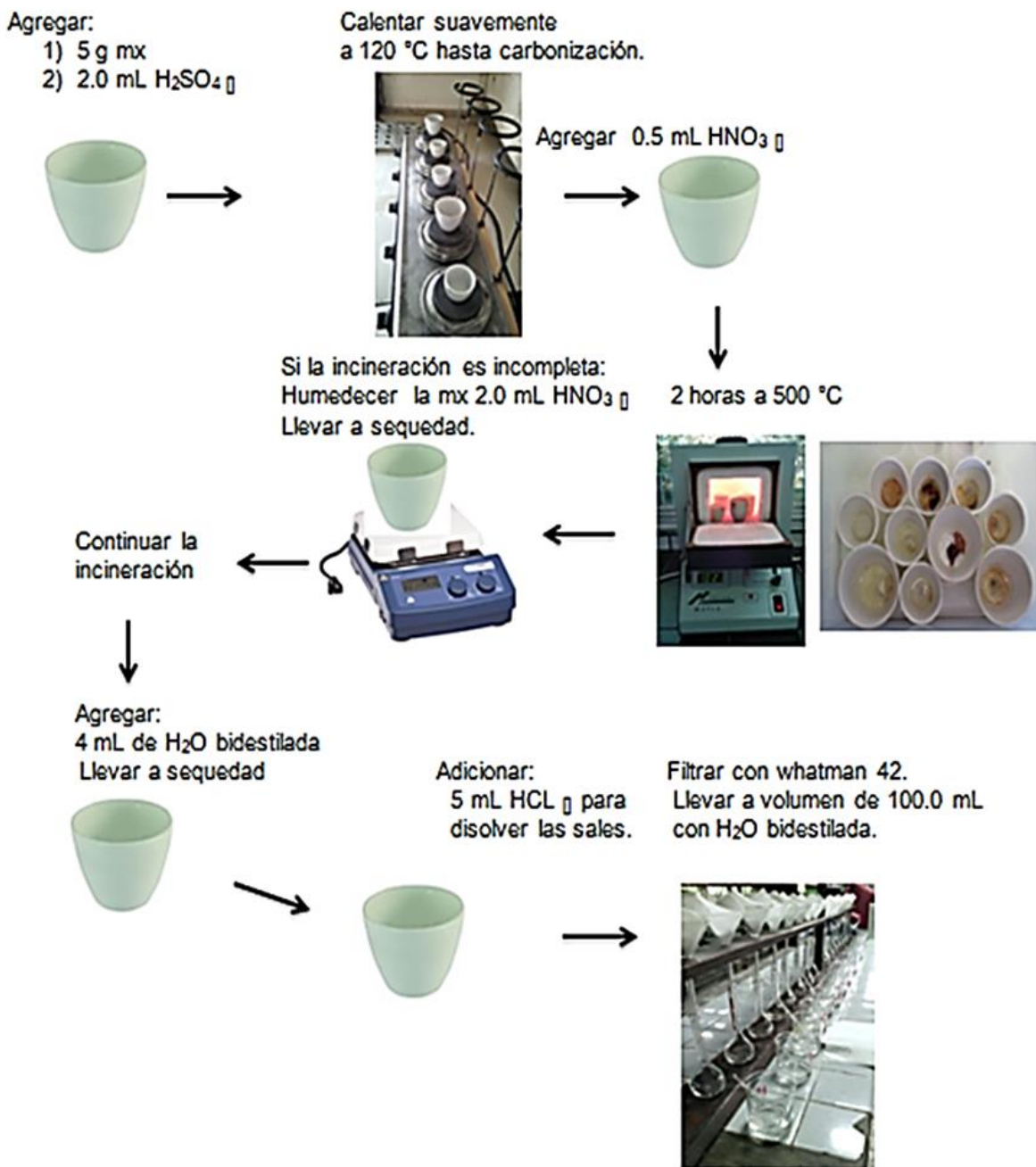


Se coloca en su respectiva celda de lectura y se introducen valores en el Espectrofotómetro.



Se quema la muestra y se determina su concentración.

Anexo 6. Pretratamiento de la muestra de leche con ácidos para determinación de metales pesados por absorción atómica con horno de grafito y generador de hidruros.



Pretratamiento de la muestra de leche

Secado e Incineración (Cenizas)

1. Colocar de 5 a 10 g de muestra en un crisol previamente pesado, luego evapore la leche a sequedad y precalcine, después enfrié y añada de 1 a 3 ml de Ácido Sulfúrico concentrado.
2. Calentar lentamente en una placa de calentamiento aproximadamente a 120° C, los componentes que son volatilizados a bajas temperaturas se eliminan, continuar calentando la muestra hasta que se produce la carbonización o evaporación del ácido sulfúrico (en este momento se produce un intenso burbujeo en la muestra, luego enfriar y agregar 0.5 ml de ácido Nítrico y evaporarlo lentamente hasta sequedad).
3. Colocar el crisol en horno mufla y realizar la calcinación durante un período de dos horas a 500° C.
4. Si la incineración es incompleta, humedecer con agua bidestilada y agregar a la muestra 2 a 5 ml de Ácido Nítrico (1:1).
5. Colocar nuevamente el crisol en una placa de calentamiento hasta sequedad, después del secado continuar la incineración (recalcinación).
6. Agregar de 2 a 4 ml de agua destilada a la ceniza y después agregar 5 ml de ácido clorhídrico concentrado para disolver las sales.
7. Enfriar la cenizas que se han solubilizado, filtrar en wattman N° 42 y aforar con agua bidestilada a un volumen de 100 ml.

Observaciones:

Existe la posibilidad de que la mayoría de elementos se volatilicen, el Pb se volatiliza durante calcinación por encima de 500° C. como también As, Sb, Sn y Zn, entre otros. Calentamiento por encima de 550° C reducirá la tasa de recolección del elemento.

Anexo 6A. Secuencia de pretratamiento de la muestra de leche con ácidos para determinación de metales pesados por absorción atómica con horno de grafito y generador de hidruros.



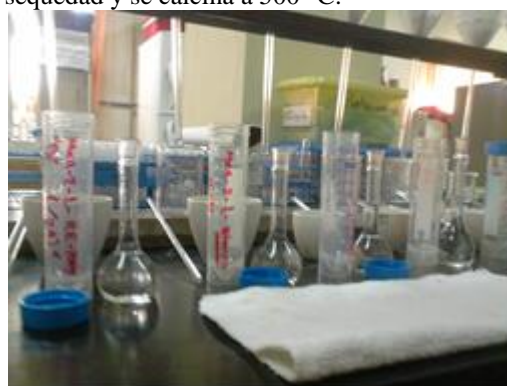
Se lleva la muestra a temperatura ambiente, se mezcla invirtiéndola tres veces y se pesan 5 ml de muestra en un crisol previamente tarado.



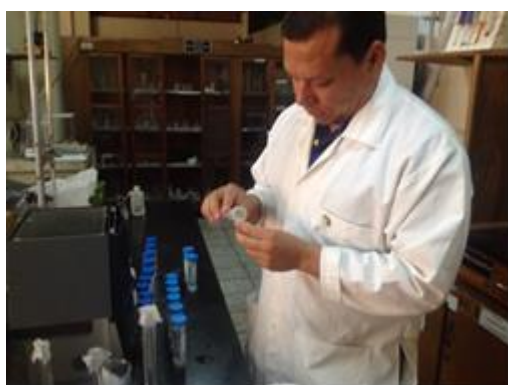
Se evapora el agua de la muestra, se agregan 2 ml de H_2SO_4 concentrado se quema la muestra a sequedad y se calcina a $500^\circ C$.



Se solubilizan las cenizas, se enfría, se filtra, se lleva a volumen conocido.



Se colocan en recipientes codificados para su posterior cuantificación.

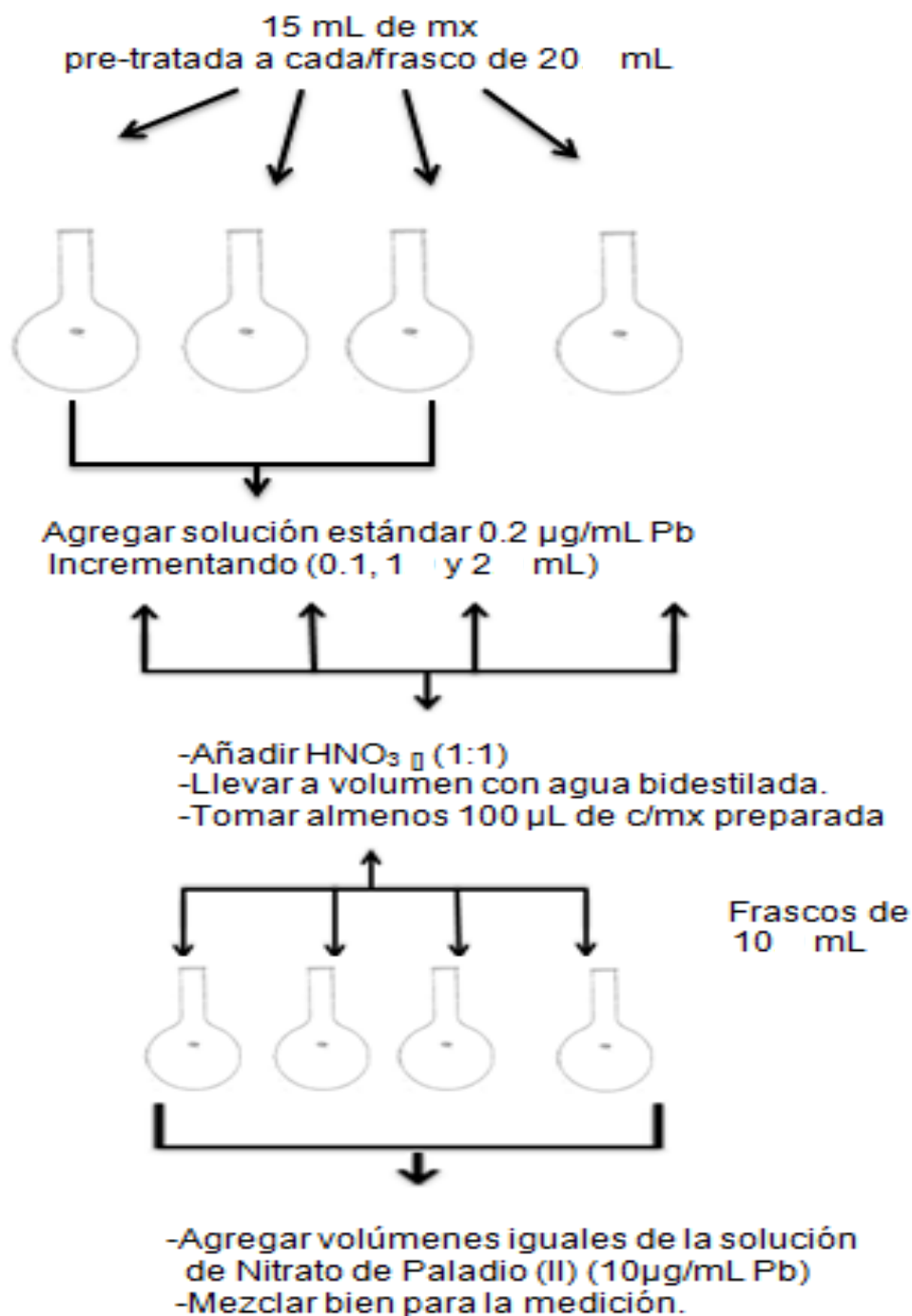


Se colocan en viales para su cuantificación.



Se colocan las muestras en el espectrofotómetro, se introducen los estándares para su corrección y se determina su concentración

Anexo 7. Preparación de la muestra de agua y leche para determinación de plomo.



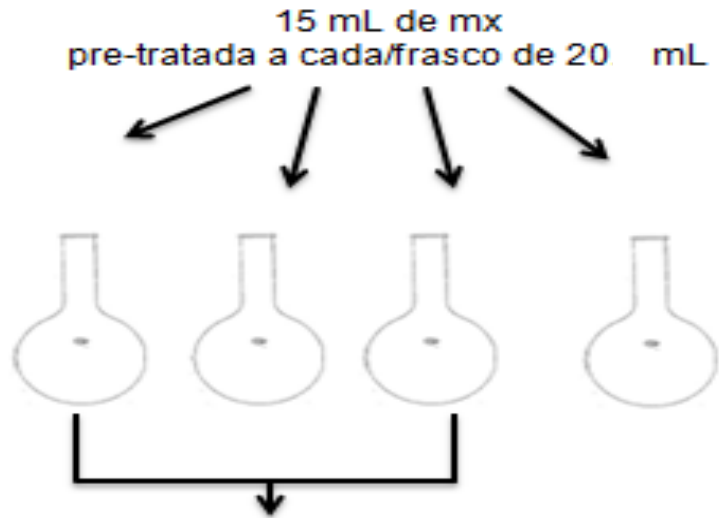
Anexo 8. Preparación de la curva estándar de plomo.

Procedimiento:

1. Preparar una solución stock de Pb 20 ppb, tomando una alícuota de 2 ml de una solución comercial de 1,000 ppb de Pb.
2. Llevar a volumen de 100 ml con agua bidestilada.
3. Tomar de la solución stock de Pb 20 ppb las alícuotas correspondientes detalladas en el cuadro de abajo para la calibración de la curva de estándares con sus concentraciones finales.
4. Incorporar 15 ml de cada solución estándar de Pb (2, 5, 10, 20 ppb) a cada uno de los frascos identificado, respectivamente.
5. Añadir ácido nítrico (1:1) a cada una de las soluciones para que tengan la misma concentración de ácido; llevar al mismo volumen usando agua bidestilada.
6. Colocar iguales volúmenes de al menos 100 μ l de cada muestra preparada en un frasco volumétrico de 10 ml y agregar iguales volúmenes de la solución de nitrato de paladio (II) (10 μ g Pd/ml) a cada frasco, mezclar bien para la medición.

Preparación de la curva estándar de Plomo:

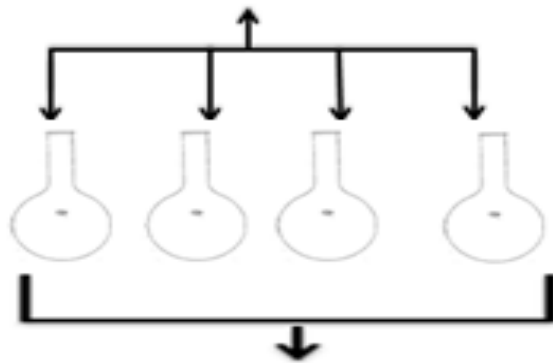
Frasco volumétrico	Solución patrón 20 ppb de Pb (mL)	Volumen total (mL)	Concentración final ppb de Pb
1	0.0	0.0	0
2	10.0	100.0	2
3	25.0	100.0	5
4	25.0	50.0	10
5	50.0	50.0	20



Agregar solución estándar $0.2 \mu\text{g/mL Pb}$
Incrementando (0.1, 1 y 2 mL)



- Añadir HNO_3 (1:1)
- Llevar a volumen con agua bidestilada.
- Tomar al menos $100 \mu\text{L}$ de c/mx preparada



Fascos de
10 mL

- Agregar volúmenes iguales de la solución de Nitrato de Paladio (II) ($10 \mu\text{g/mL Pb}$)
- Mezclar bien para la medición.

Anexo 9. Preparación de la muestra de leche para determinación de Arsénico.

Agregar:

- 10 mL mx pre tratada
- 1.0 mL de HCL (1:1)
- 2.0 mL de solución de yoduro de potasio

- Calentar sin ebullición.
- Dejar enfriar.

- 20 mL de H₂O bidestilada.
- Mezclar para su medición.



Anexo 10. Preparación de la muestra de agua para determinación de Arsénico.

Agregar:

- 10. mL mx
- 1. mL de H_2SO_4
- 2. mL HNO_3



- Calentar hasta producir vapores blancos ($\text{H}_2\text{SO}_4 \uparrow$)
- Dejar enfriar a temperatura ambiente.



Agregar:

- 5 mL HCL (1:1)
- 5 mL solución de yoduro de potasio



Llevar a volumen de 50 mL con H_2O bidestilada. Dejar reposar 15 minutos para la lectura.



Anexo 11. Preparación de la curva estándar para Arsénico.

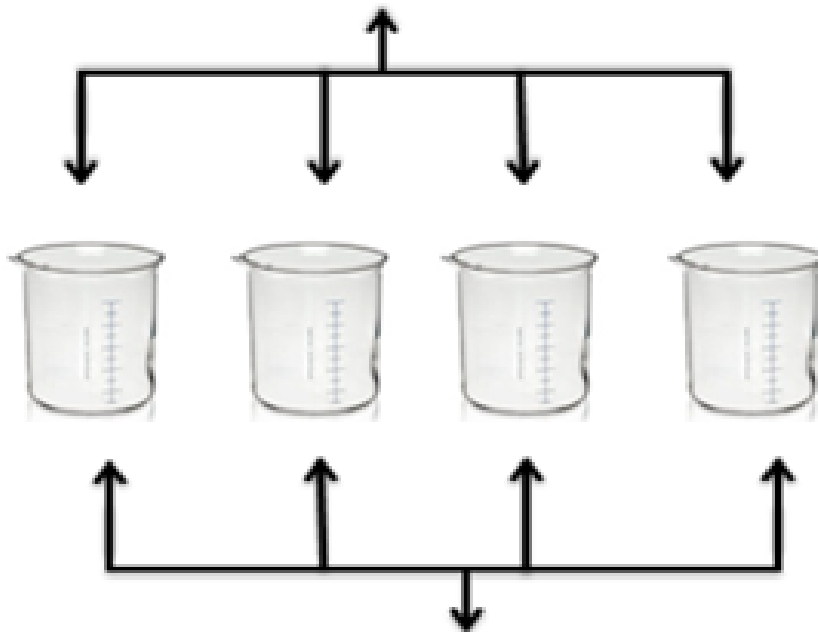
Procedimiento:

1. Preparar una solución stock de As 20 ppb, tomando una alícuota de 2 ml de una solución comercial de 1,000 ppb As.
2. Llevar a volumen de 100 ml con agua bidestilada.
3. Tomar de la solución stock de As 20 ppb las alícuotas detalladas en el recuadro de abajo para la curva de estándares con sus concentraciones finales respectivas.
4. Incorporar 10 ml de cada concentración preparada en frascos debidamente identificados (5, 2.5, 1, 0.5 ppb As).
5. Añadir 4 ml de ácido clorhídrico (1:1) y 2 ml de solución de Yoduro de Potasio.
6. Calentar sin ebullición y dejar enfriar.
7. Añadir 20 ml de agua bidestilada para la medición.

Preparación de la curva estándar de Arsénico:

Frasco volumétrico	Solución patrón 20 ppb de As (mL)	Volumen total (mL)	Concentración final ppb de As
1	0.0	0.0	0.0
2	2.5	100.0	0.5
3	5.0	100.0	1.0
4	12.5	100.0	2.5
5	25.0	100.0	5.0

10 mL de solución estándar de arsénico
(5, 2.5, 1 y 0.5 ppb respectivamente) a
Cada/frasco



Añadir:

- 4 mL HCL (1:1)
- 2 ml solución de yoduro de potasio
- Calentar sin ebulir
- Dejar enfriar
- Añadir 20 mL de H₂O bidestilada
- Mezclar para su medición

Anexo 12. Ejemplo de informe de resultados del análisis de aguas presentado a cada ganadería, según época de muestreo (época seca) y por zona (zona 1, 2 y 3).

No. de Referencia: Mx1-AG-LP-000-2014	
Nombre del cliente: HACIENDA LP	
Identificación de muestra: Agua de abrevadero de ganado en ordeño	
Lugar de toma de muestra: Agua de abrevadero central de amate y segundo abrevadero de grupo de vacas en ordeño, Hacienda LP, Municipio de Caluco, departamento de Sonsonate.	
Fecha de muestreo: 24/09/2014	Fecha de recepción de muestra: 25/09/2014
Fecha de análisis : 25 – 30 /09/2014	Fecha de elaboración de informe: 09/12/2014

Determinación	Resultado	Unidades	Límite máximo permisible NSO13.07.01:08	Método de análisis
Coliformes fecales ¹⁾	1,600	NMP/ 100 ml	< 1.1	Tubos múltiples
Coliformes totales ¹⁾	1,600	NMP/ 100 ml	< 1.1	Tubos múltiples
Bacterias heterótrofas ¹⁾	29,000	UFC/ml	100	Placa vertida
pH	7.22		8.50	Potenciométrico
Sólidos totales disueltos	364	mg/l	1,000	Potenciométrico
Turbidez	4	UNT	5	Colorimétrico
Temperatura	25	°C	No rechazable	Termómetro de mercurio
Dureza total como (CaCO ₃)	258.92	mg/l	500	Volumétrico, EDTA
Cobre	ND*	mg/l	1.30	Espectrofotometría de llama
Sodio	96	mg/l	200	Espectrofotometría de llama
Sulfatos	74.07	mg/l	400	Gravimétrico
Zinc	0.0186	mg/l	5	Espectrofotometría de absorción atómica
Hierro total	ND*	mg/l	0.30 ²⁾	Espectrofotometría de absorción atómica
Arsénico	ND*	mg/l	0.010	Colorimétrico
Nitrato	18.4	mg/l	45.00	Colorimétrico
Plomo	ND*	mg/l	0.010	Espectrofotometría de absorción atómica

Observaciones: De acuerdo a los parámetros realizados a la muestra de agua, los que no cumplen con la Norma Salvadoreña Obligatoria para agua potable NSO 13.07.01:08 son: coliformes fecales, coliformes totales, bacterias heterótrofas,

Recomendaciones: Los abrevaderos de este sistema de ordeño son abastecidos con agua de

pozo, por lo que se recomienda dar tratamiento adecuado de desinfección a las pilas (remoción diaria de sedimento) y si fuere necesaria la cloración de la misma, para tener por lo menos un nivel de cloro residual entre 0.3 y 1.1 mg/l para eliminación de carga bacteriológica y dar cumplimiento a la normativa de agua potable.

¹⁾Análisis realizado por el Laboratorio de Investigación y Diagnóstico, departamento de Protección Vegetal, Universidad de El Salvador.

* ND: valores no detectados.

Ing. Oscar Carrillo Turcios
Jefe del departamento de Química Agrícola

Ing. Juan Milton Flores
Analista

Anexo 13. Ejemplo de informe de resultados del análisis de metales pesados para las muestras de leches presentados a cada ganadería, según época de muestreo (época seca) y zona (zona 1, 2 y 3).

No. de Referencia: Mx1-L-LP-000-2014	
Nombre del cliente: HACIENDA LP	
Identificación de muestra: Leche de cisterna de ganado en ordeño	
Lugar de toma de muestra: Cisterna central de grupo de vacas en ordeño, Hacienda LP, Municipio de Caluco, departamento de Sonsonate.	
Fecha de muestreo: 24/09/2014	Fecha de recepción de muestra: 25/09/2014
Fecha de análisis : 25 – 30 /09/2014	Fecha de elaboración de informe: 09/12/2014

Determinación	Resultado	Unidades	Límite máximo permisible CODEX Alimentarius	Método de análisis
Arsénico ¹⁾	ND*	mg/l	0.05	Espectrofotometría de Absorción Atómica por Horno de grafito y Generador de Hidruros.
Plomo ¹⁾	ND*	mg/l	0.02	
Observaciones: De acuerdo a los parámetros realizados a la muestra de leche, esta muestra cumple con los requisitos máximos permisibles para metales pesados por el CODEX Alimentarius.				
Recomendaciones: Se deben de cuidar los mecanismos de limpieza de cada una de las cisternas o termos de refrigeración de la leche, para evitar contaminación cruzada a la hora de ordeño y tomas de muestras para respectivos análisis de estudio posteriores.				

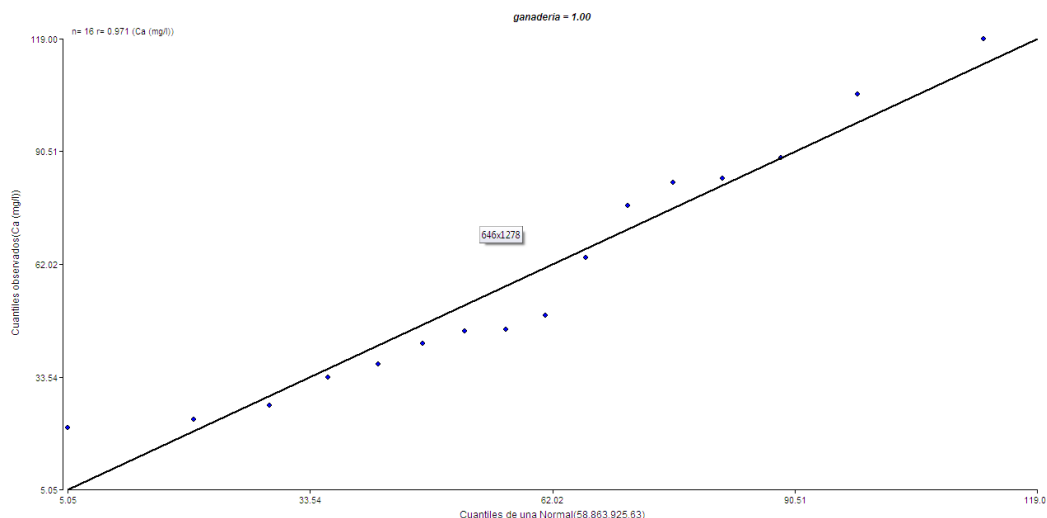
¹⁾ Análisis realizado por el Laboratorio de Investigación, departamento de Química Agrícola, Universidad de El Salvador.

* ND: valores no detectados.

Ing. Oscar Carrillo Turcios
Jefe del departamento de Química Agrícola

Ing. Juan Milton Flores
Analista

Anexo 14. Ejemplo de un análisis estadístico QQ-plot que determinan la distribución normal de los datos de calcio realizado para cada parámetro por ganadería, por zona y por época.



Anexo 15. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para la determinación de Calcio, por ganaderías de las tres zonas en estudio con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	137.79	<0.0001
zona	2	17.86	<0.0001
epoca	1	0.17	0.6838
zona:epoca	2	0.13	0.8770

Anexo 15B. Determinación de la diferencia estadística para Calcio, en tres ganaderías analizado por zonas en estudio con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Ca.mg.l - Medias ajustadas y errores estándares para zona

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

zona Medias E.E.

2	103.45	13.86	A
1	39.34	3.02	B
3	26.68	2.67	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 16. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para la determinación de Sodio, por ganaderías de las tres zonas en estudio con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	94.24	<0.0001
zona	2	4.53	0.0182
epoca	1	1.84	0.1844
zona:epoca	2	1.27	0.2945

Anexo 16B. Determinación de la diferencia estadística para Calcio, en tres ganaderías analizado por zonas en estudio con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Na.mg.l - Medias ajustadas y errores estándares para zona

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

zona	Medias	E.E.	
2	65.56	13.32	A
1	54.40	6.92	A
3	33.67	5.00	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 17. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para la determinación de Zinc, por ganaderías de las tres zonas en estudio con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	34.12	<0.0001
zona	2	0.87	0.4290
epoca	1	1.09	0.3033
zona:epoca	2	0.75	0.4823

Anexo 17B. Determinación de la diferencia estadística para Zinc, en tres ganaderías analizado por zonas en estudio con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Zn.mg.1 - Medias ajustadas y errores estándares para zona

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

zona	Medias	E.E.	
3	0.03	0.01	A
1	0.02	0.01	A
2	0.02	0.01	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Anexo 18. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para la determinación de Hierro, por ganaderías de las tres zonas en estudio con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	15.85	0.0004
zona	2	2.79	0.0761
epoca	1	0.01	0.9334
zona:epoca	2	2.07	0.1421

Anexo 18B. Determinación de la diferencia estadística para Hierro, en tres ganaderías analizado por zonas en estudio con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Fe.mg.1 - Medias ajustadas y errores estándares para zona

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

zona	Medias	E.E.	
2	0.30	0.10	A
3	0.08	0.04	B
1	0.06	0.02	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Anexo 19. Sistema de tratamiento del agua de la ganadería uno, zona dos (El Conacaste).



Vista panorámica del sistema de filtración del agua.



Sistema de caída para la Oxigenación del agua y precipitar el Hierro como Hidróxido de Hierro.



Cajas de Oxigenación con material de roca volcánica.



Sedimentado de los flóculos formados.

Anexo 20. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para la determinación de Minerales de interés nutricional Solidos Totales Disueltos (STD), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	186.96	<0.0001
zona	2	42.01	<0.0001
epoca	1	0.57	0.4540
zona:epoca	2	0.27	0.7663

Anexo 20B. Determinación de la diferencia estadística para determinación de Minerales de interés nutricional Solidos Totales Disueltos (STD), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

STD.mg.1 - Medias ajustadas y errores estándares para zona

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

zona	Medias	E.E.	
2	522.20	70.46	A
1	328.72	19.95	B
3	157.62	8.84	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Anexo 21. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para la determinación de Turbidez, en tres ganaderías de tres zonas con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	13.23	0.0009
zona	2	0.36	0.6973
epoca	1	3.41	0.0738
zona:epoca	2	0.27	0.7624

Anexo 21B. Determinación de la diferencia estadística para determinación Turbidez, en tres ganaderías de tres zonas con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Turbidez.UNT - Medias ajustadas y errores estándares para zona

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

zona	Medias	E.E.	
3	10.08	5.17	A
1	5.63	1.87	A
2	5.45	1.91	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 22. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para la determinación Minerales de interés nutricional y Dureza total (CaCO_3), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	60.67	<0.0001
zona	2	2.46	0.1006
epoca	1	3.53	0.0693
zona:epoca	2	2.57	0.0916

Anexo 22B. Determinación de la diferencia estadística para la determinación Minerales de interés nutricional y Dureza total (CaCO_3), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Dureza.total.como.CaCO3.mg.l - Medias ajustadas y errores estándares para zona

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

zona	Medias	E.E.	
2	388.46	76.45	A
3	281.21	83.40	A B
1	221.36	16.91	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 23. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para la determinación de Sulfatos (SO_4^{-2}), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	32.08	<0.0001
zona	2	4.20	0.0236
epoca	1	6.92	0.0129
zona:epoca	2	1.25	0.2998

Anexo 23B. Determinación de la diferencia estadística para la determinación de Sulfatos (SO_4^{-2}), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

SO4.mg.1 - Medias ajustadas y errores estándares para zona

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

zona	Medias	E.E.	
2	362.06	100.66	A
1	136.30	20.60	B
3	93.24	18.76	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 24. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para la determinación de Nitratos (NO_3^{-}), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	108.17	<0.0001
zona	2	5.62	0.0081
epoca	1	1.54	0.2236
zona:epoca	2	1.68	0.2020

Anexo 24B. Determinación de la diferencia estadística para la determinación de Nitratos (NO₃⁻), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

NO3.mg.l - Medias ajustadas y errores estándares para zona

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

zona	Medias	E.E.	
1	19.09	3.16	A
2	16.78	2.55	A
3	9.36	1.56	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Anexo 25. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para la determinación de Coliformes Fecales (NMP/100 ml), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	122.41	<0.0001
zona	2	2.71	0.0815
epoca	1	25.94	<0.0001
zona:epoca	2	4.81	0.0147

Anexo 25B. Determinación de la diferencia estadística para la determinación de Coliformes Fecales (NMP/100 ml), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Coliformes.Fecales.NMP.100.ml - Medias ajustadas y errores estándares para zona

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

zona	Medias	E.E.	
2	1096.03	146.13	A
1	878.81	120.66	A B
3	627.58	139.33	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Anexo 26. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para la determinación de Coliformes Totales (NMP/100 ml), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	114.89	<0.0001
zona	2	1.20	0.3149
epoca	1	12.52	0.0012
zona:epoca	2	5.89	0.0065

Anexo 26B. Determinación de la diferencia estadística para la determinación de Coliformes Totales (NMP/100 ml), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Coliformes.Totales.NMP.100.ml - Medias ajustadas y errores estándares para zona

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

zona	Medias	E.E.	
2	1153.53	165.61	A
1	878.69	136.75	A
3	825.00	157.90	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 27. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para determinación de Bacterias Heterótrofas (UFC/ml), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	24.65	<0.0001
zona	2	0.37	0.6948
epoca	1	17.52	0.0002
zona:epoca	2	0.71	0.4973

Anexo 27B. Determinación de la diferencia estadística para determinación de Bacterias Heterótrofas (UFC/ml), en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Bacterias.Heterotrofas.UFC.ml - Medias ajustadas y errores estándares para zona

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

zona	Medias	E.E.
2	153418.40	45954.06 A
1	110716.81	37945.32 A
3	103148.33	43815.48 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 28. Análisis de varianza por Kruskal Wallis para determinación de Cobre en agua, en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	zona	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Cu (mg/l)	1	16	0.01	0.01	0.00	2.78	0.1741
Cu (mg/l)	2	11	0.02	0.02	0.01		
Cu (mg/l)	3	12	4.5E-03	0.01	0.00		

Anexo 29. Análisis de varianza por Kruskal Wallis para determinación de Arsénico en agua, en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	zona	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
As (mg/l)	1	16	3.8E-04	5.0E-04	1.0E-04	12.28	0.0019
As (mg/l)	2	11	0.10	0.30	0.01		
As (mg/l)	3	12	0.01	0.01	2.0E-03		

Anexo 30. Análisis de varianza por Kruskal Wallis para determinación de Plomo en agua, en tres ganaderías de tres zonas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	zona	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Pb (mg/l)	1	16	0.00	0.00	0.00	4.22	0.0019
Pb (mg/l)	2	11	0.00	0.00	0.00		
Pb (mg/l)	3	12	0.08	0.29	0.00		

Anexo 31. Determinación del análisis de varianza general lineal paramétrica para determinación de Calcio, por época, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Ca.mg.1 - Medias ajustadas y errores estándares para época

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

epoca	Medias	E.E.	
2	58.46	6.47	A
1	54.51	7.12	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 32. Determinación del análisis de varianza general lineal para la determinación de Sodio, por época, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Na.mg.1 - Medias ajustadas y errores estándares para época

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

epoca	Medias	E.E.	
2	58.36	5.95	A
1	44.06	8.71	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 33. Determinación del análisis de varianza general lineal para la determinación de Zinc, por época, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Zn.mg.1 - Medias ajustadas y errores estándares para zona

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

zona	Medias	E.E.	
3	0.03	0.01	A
1	0.02	0.01	A
2	0.02	0.01	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 34. Determinación del análisis de varianza general lineal para la determinación de Hierro, por época, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Fe.mg.1 - Medias ajustadas y errores estándares para época

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

<u>epoca</u>	<u>Medias</u>	<u>E.E.</u>	
2	0.15	0.05	A
1	0.14	0.06	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 35. Determinación del análisis de varianza general lineal para determinación de Sólidos Totales Disueltos (STD), por época, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

STD.mg.1 - Medias ajustadas y errores estándares para época

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

<u>epoca</u>	<u>Medias</u>	<u>E.E.</u>	
2	354.81	32.14	A
1	317.55	37.22	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 36. Determinación del análisis de varianza general lineal para determinación de Durezas (CaCO₃), por época, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Dureza.total.como.CaCO3.mg.1 - Medias ajustadas y errores estándares para época

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

<u>epoca</u>	<u>Medias</u>	<u>E.E.</u>	
2	368.62	68.47	A
1	225.40	33.59	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 37. Determinación del análisis de varianza general lineal para determinación de Sulfatos (SO_4^{2-}), por época, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

SO4.mg.l - Medias ajustadas y errores estándares para época

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

época Medias E.E.

2 288.76 67.09 A

1 105.64 18.61 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 38. Determinación del análisis de varianza general lineal para determinación de Nitratos (NO_3^-), por época, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

NO3.mg.l - Medias ajustadas y errores estándares para zona

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

zona Medias E.E.

1 19.09 3.16 A

2 16.78 2.55 A

3 9.36 1.56 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 39. Determinación del análisis de varianza general lineal para la determinación de Turbidez, por época con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Turbidez.UNT - Medias ajustadas y errores estándares para época

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

época Medias E.E.

1 10.63 3.82 A

2 3.47 0.68 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 40. Determinación del análisis de varianza general lineal para determinación de Coliformes Fecales (NMP/100 ml), por época, para tres zonas estudiadas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Coliformes.Fecales.NMP.100.ml - Medias ajustadas y errores estándares para época

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

época Medias E.E.

1	1266.80	112.81	A
2	468.15	108.92	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 41. Determinación del análisis de varianza general lineal para determinación de Coliformes Totales (NMP/100 ml), por época, para tres zonas estudiadas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Coliformes.Totales.NMP.100.ml - Medias ajustadas y errores estándares para época

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

época Medias E.E.

1	1266.80	127.85	A
2	638.01	123.44	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 42. Determinación del análisis de varianza general lineal para determinación de Bacterias Heterótrofas (UFC/ml), por época, para tres zonas estudiadas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Bacterias.Heterotrofas.UFC.ml - Medias ajustadas y errores estándares para época

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

época Medias E.E.

2	225638.89	34252.14	A
1	19216.81	35475.81	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 43. Contaminación generada en los abrevaderos de todas las ganaderías.



Contaminación generada por deyecciones de bovinos en lo abrevaderos.



Nivel de contaminación en el perímetro del abrevadero generado por la nidación de aves.

Anexo 44. Análisis de varianza por Kruskal Wallis para determinación de Cobre en agua, por época para las tres zonas estudiadas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	epoca	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Cu (mg/l)	1	19	0.00	0.00	0.00	18.24	<0.0001
Cu (mg/l)	2	20	0.02	0.02	0.02		

Anexo 45. Análisis de varianza por Kruskal Wallis para determinación de Arsénico en agua, por época para las tres zonas estudiadas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	epoca	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
As (mg/l)	1	19	0.06	0.23	1.0E-04	2.39	0.1186
As (mg/l)	2	20	4.4E-03	0.01	1.3E-03		

Anexo 46. Análisis de varianza por Kruskal Wallis para determinación de Plomo en agua, por época para las tres zonas estudiadas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	epoca	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Pb (mg/l)	1	19	6.3E-04	1.4E-03	0.00	0.64	0.1680
Pb (mg/l)	2	20	0.05	0.22	0.00		

Anexo 47. Análisis de varianza por Kruskal Wallis para determinación de Arsénico, en leche para tres zonas estudiadas, con referencia al valor establecido al Código de MERCOSUR.

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	zona	N	trat	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
As (mg/l)	1		1	16	5.3E-04	5.8E-04	3.5E-04	1.33	0.3991
As (mg/l)	2		2	12	7.3E-04	1.3E-03	0.00		
As (mg/l)	3		3	12	2.6E-04	6.0E-04	0.00		

Anexo 48. Análisis de varianza por Kruskal Wallis para determinación de Plomo, en leche para tres zonas estudiadas, con referencia al valor establecido a la norma NSO 13.07.01:08.

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	zona	N	trat	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Pb (mg/l)	1		1	16	0.00	0.00	0.00	0.17	0.3114
Pb (mg/l)	2		2	12	0.00	0.00	0.00		
Pb (mg/l)	3		3	12	1.3E-03	4.3E-03	0.00		

Anexo 49. Análisis de varianza por Kruskal Wallis para determinación de Arsénico, en leche por época para tres zonas estudiadas, con referencia al valor establecido al Código de MERCOSUR.

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	epoca	N	trat	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
As (mg/l)	1		1	20	1.6E-04	4.8E-04	0.00	6.26	0.0033
As (mg/l)	2		2	20	8.7E-04	9.9E-04	8.0E-04		

Anexo 50. Análisis de varianza por Kruskal Wallis para determinación de Plomo, en leche por época para tres zonas estudiadas, con referencia al valor establecido al CODEX Alimentarius.

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	epoca	N	trat	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Pb (mg/l)	1		1	20	0.00	0.00	0.00	0.07	0.3173
Pb (mg/l)	2		2	20	7.5E-04	3.4E-03	0.00		

