



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN
Y SERVICIO EN ZOOTECNIA

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE BOVINOS DE DOBLE PROPÓSITO EN CATAZAJÁ, CHIAPAS, MÉXICO

TESIS:

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

JUAN CARLOS MUÑOZ GONZÁLEZ

Bajo la supervisión de: **MAXIMINO HUERTA BRAVO, Ph. D.**



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
ORICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Junio, 2016
Chapingo, México

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE BOVINOS DE DOBLE PROPÓSITO EN CATAZAJÁ, CHIAPAS, MÉXICO

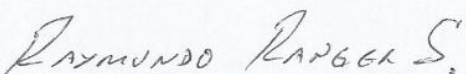
Tesis realizada por Juan Carlos Muñoz González, bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

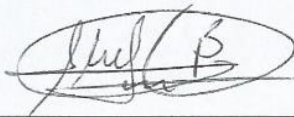
DIRECTOR:


Ph. D. Maximino Huerta Bravo

ASESOR:


Ph. D. Raymundo Rangel Santos

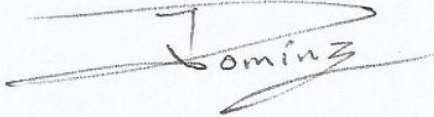
ASESOR:


Dr. Alejandro Lara Bueno

ASESOR:


Dr. Jorge Luis De la Rosa Arana

LECTOR EXTERNO


Dr. Ignacio Arturo Domínguez Vara

CONTENIDO

CONTENIDO	iii
LISTA DE CUADROS	viii
LISTA DE FIGURAS	xii
AGRADECIMIENTOS	xv
DEDICATORIA	xvi
DATOS BIOGRÁFICOS	xvii
CAPÍTULO 1	1
1 RESUMEN GENERAL	2
2 GENERAL ABSTRACT	2
CAPÍTULO 2	3
3 INTRODUCCIÓN GENERAL	4
4 CAPÍTULOS DE LA TESIS	7
CAPÍTULO 3	9
5 REVISIÓN DE LITERATURA	10
5.1 Definición de trópico	10
5.2 El trópico en México	10
5.3 Aspectos generales de los minerales	11
5.4 Clasificación y funciones generales de los minerales	13
5.4.1 Funciones de los microminerales	14
5.4.2 Funciones de los macrominerales	17
5.5 Signos clínicos asociados a desbalances minerales	20
5.6 Disponibilidad de los minerales para los rumiantes	23
5.7 Suplementos minerales	23
5.8 Evaluación del estatus mineral	25
5.8.1 Perfil mineral en agua	26
5.8.2 Perfil mineral en suelo	32

5.8.3	Perfil mineral en animales -----	36
5.9	Principales especies de zacates cultivados en climas tropical y templado -----	40
5.9.1	Factores que afectan la productividad y el valor nutritivo de los forrajes -----	43
5.9.2	Rendimiento de forraje-----	46
5.9.3	Métodos para determinar el rendimiento de forraje -----	47
5.10	Generalidades de la producción y composición de la leche bovina-----	48
5.10.1	Producción mundial de leche de ganado bovino -----	48
5.10.2	Producción nacional de leche de ganado bovino-----	49
5.10.3	Definición de la leche de acuerdo a su uso -----	51
5.10.4	Componentes de la leche-----	53
5.10.5	Variación en los componentes químicos de la leche -----	64
5.11	Condición corporal y baja fertilidad en bovinos-----	69
5.11.1	Interconversión entre escalas de condición corporal -----	73
5.12	LITERATURA CITADA -----	74
	CAPÍTULO 4 -----	93
6	AVANCES EN EL ESTUDIO DE MACRO Y MICRO MINERALES EN FORRAJES CONSUMIDOS POR LOS RUMIANTES EN MÉXICO -----	94
6.1	RESUMEN-----	94
6.2	ABSTRACT-----	95
6.3	INTRODUCCIÓN -----	96
6.4	MATERIALES Y MÉTODOS-----	97
6.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN-----	97
6.6	CONCLUSIONES-----	113
6.7	LITERATURA CITADA -----	113
	CAPÍTULO 5 -----	124

7	PERFIL MINERAL DEL SISTEMA BOVINO DOBLE PROPÓSITO EN TRES ÉPOCAS DEL AÑO EN EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO-----	125
7.1	RESUMEN-----	125
7.2	ABSTRACT-----	126
7.3	INTRODUCCIÓN -----	126
7.4	MATERIALES Y MÉTODOS-----	127
7.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN-----	128
7.6	CONCLUSIONES-----	143
7.7	LITERATURA CITADA-----	144
	CAPÍTULO 6 -----	148
8	EVALUACIÓN MINERAL DE FORRAJES DEL TRÓPICO HÚMEDO MEXICANO-----	149
8.1	SUMMARY -----	149
8.2	RESUMEN-----	149
8.3	INTRODUCCIÓN -----	149
8.4	MATERIALES Y MÉTODOS-----	149
8.5	CONCLUSIONES-----	151
8.6	LITERATURA CITADA-----	151
	CAPÍTULO 7 -----	153
9	PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA DE FORRAJES EN CONDICIONES DE TRÓPICO HÚMEDO EN MÉXICO-----	154
9.1	RESUMEN-----	154
9.2	ABSTRACT-----	155
9.3	INTRODUCCIÓN -----	156
9.4	MATERIALES Y MÉTODOS-----	157
9.5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN-----	159
9.6	CONCLUSIONES-----	169
9.7	LITERATURA CITADA-----	169

CAPÍTULO 8 -----	173
10 CALIDAD NUTRIMENTAL DE FORRAJES EN CONDICIONES DE TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO -----	174
10.1 RESUMEN-----	174
10.2 ABSTRACT-----	175
10.3 INTRODUCCIÓN -----	176
10.4 MATERIALES Y MÉTODOS-----	177
10.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN-----	181
10.6 LITERATURA CITADA-----	190
CAPITULO 9 -----	195
11 TASA DE CRECIMIENTO DEL FORRAJE, CONDICIÓN CORPORAL Y PRODUCCIÓN DE LECHE DE VACAS DE DOBLE PROPÓSITO EN EL SURESTE MEXICANO-----	196
11.1 RESUMEN-----	196
11.2 ABSTRACT-----	197
11.3 INTRODUCCIÓN -----	197
11.4 MATERIALES Y MÉTODOS-----	199
11.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN-----	202
11.6 CONCLUSIONES-----	212
11.7 LITERATURA CITADA-----	213
CAPÍTULO 10-----	218
12 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA LECHE DE VACAS DE DOBLE PROPÓSITO EN EL SURESTE MEXICANO -----	219
12.1 RESUMEN-----	219
12.2 ABSTRACT-----	220
12.3 INTRODUCCIÓN -----	221
12.4 MATERIALES Y MÉTODOS-----	222
12.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN-----	225

12.6	CONCLUSIONES-----	231
12.7	LITERATURA CITADA-----	232

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Funciones de algunas enzimas que requieren microminerales.....	15
Cuadro 2. Principales funciones de los macrominerales.	18
Cuadro 3. Signos de deficiencia y toxicidad causados por macrominerales en el ganado bovino.	21
Cuadro 4. Signos clínicos de deficiencia y toxicidad causados por microminerales en el ganado bovino.	22
Cuadro 5. Fuentes minerales utilizadas en la formulación de suplementos (macrominerales).....	24
Cuadro 6. Fuentes minerales utilizadas en la formulación de suplementos (microminerales).	25
Cuadro 7. Nivel máximo (mg L^{-1}) de algunas sustancias en el agua de bebida para el ganado... ..	29
Cuadro 8. Resumen de 20 estudios realizados para determinar la concentración (mg L^{-1}) mineral en el agua.....	31
Cuadro 9. Resumen de estudios realizados en el trópico mexicano para determinar los microminerales del suelo en explotaciones de ganado bovino y ovino.	34
Cuadro 10. Resumen de estudios realizados en el trópico mexicano para determinar los microminerales del suelo en explotaciones de ganado bovino y ovino.	35
Cuadro 11. Resumen de estudios de la concentración de minerales en suero de bovinos en el trópico mexicano.....	39
Cuadro 12. Composición nutricional de la leche entera.....	54
Cuadro 13. Clases principales de lípidos en la leche.....	56
Cuadro 14. Composición de ácidos grasos mayores en la leche de bovinos. ..	58

Cuadro 15. Composición mineral y contenido de ácido cítrico en leche de distintas especies.....	63
Cuadro 16. Contenido de minerales traza en 100 g de leche entera.	64
Cuadro 17. Variación en la composición de la leche en relación con la raza. ..	65
Cuadro 18. Influencia de la época del año en la composición de la leche.....	66
Cuadro 19. Descripción de las categorías del sistema estandarizado para evaluar la condición corporal del ganado cebú.	72
Cuadro 20. Niveles mínimos y máximos tolerables de minerales requeridos en la dieta de bovinos, ovinos y caprinos..	98
Cuadro 21. Forrajes en México con niveles deficientes, normales o adecuados de minerales con base en los requerimientos de los rumiantes.	99
Cuadro 22. Contenido de minerales en gramíneas y leguminosas estudiadas en México.	99
Cuadro 23. Contenido de microminerales (mg kg ⁻¹) en gramíneas utilizadas para la alimentación de rumiantes en México.	102
Cuadro 24. Contenido de microminerales (mg kg ⁻¹) en leguminosas utilizadas para la alimentación de rumiantes en México.	105
Cuadro 25. Contenido de macrominerales (%) en gramíneas utilizadas para la alimentación de rumiantes en México.....	108
Cuadro 26. Contenido de macrominerales (%) en leguminosas utilizadas para la alimentación de rumiantes en México.....	112
Cuadro 27. Concentración mineral en el agua de bebida de bovinos de doble propósito de cinco ranchos ganaderos en tres épocas del año en el sureste de México.	129
Cuadro 28. Concentración mineral en suelos de cinco ranchos ganaderos de doble propósito durante tres épocas del año en el trópico húmedo de México.	131

Cuadro 29. Concentraciones minerales del suplemento concentrado y premezcla mineral proporcionados al ganado bovino de doble propósito en algunos ranchos del trópico húmedo de México.	133
Cuadro 30. Concentraciones de minerales en el forraje de cinco ranchos ganaderos de doble propósito durante tres épocas del año en el trópico húmedo de México	134
Cuadro 31. Contenido de proteína y fibras en cinco ranchos en tres épocas del año de cuatro especies forrajeras en el sureste de México.	137
Cuadro 32. Concentración mineral en suero sanguíneo de bovinos de doble propósito en diferentes épocas en el sureste de México.	139
Cuadro 33. Concentración mineral de diferentes especies forrajeras en tres épocas del año en el trópico húmedo de Chiapas.	150
Cuadro 34. Tasa de crecimiento mensual (kg de MS d^{-1}) y producción anual de materia seca (kg ha^{-1}) de forrajes en cinco ranchos del sureste de México. ..	166
Cuadro 35. Tasa de crecimiento ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) de forrajes en tres épocas del año en cinco ranchos del sureste de México.	167
Cuadro 36. Tasa de crecimiento ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) y producción anual de materia seca (kg ha^{-1}) de cuatro especies forrajeras en el sureste de México.	169
Cuadro 37. Contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) de cuatro especies forrajeras colectadas en jaulas de exclusión en cinco ranchos del sureste de México.	181
Cuadro 38. Concentración mineral en forrajes protegidos con jaulas de exclusión en cinco ranchos en el sureste de México.	186
Cuadro 39. Composición nutrimental de los forrajes colectados en jaulas de exclusión y Hand Plucking en el sureste de México.	189
Cuadro 40. Condición corporal (CC) y producción de leche (PL) de vacas de doble propósito, y tasa de crecimiento (TC) de forrajes de cinco unidades de producción (UP) en el sureste de México.	202

Cuadro 41. Datos reproductivos obtenidos durante 12 meses en cinco unidades de producción con animales de doble propósito en el estado de Chiapas, México.	210
Cuadro 42. Parámetros de calidad de la leche establecidos en normas mexicanas.....	224
Cuadro 43. Composición fisicoquímica de la leche de vacas de doble propósito en cinco ranchos en el sureste de México.	225
Cuadro 44. Contenido de grasa, proteína, caseína, lactosa, sólidos no grasos (SNG), sólidos totales (ST) y pH de la leche en los meses y épocas del año de vacas doble de propósito en el sureste de México.	227
Cuadro 45. Porcentajes de muestras de leche de vacas doble propósito de cinco ranchos en el sureste de México que sobrepasan los estándares nacionales de calidad.	230

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Efecto del pH en la disponibilidad de nutrimentos. La disponibilidad de nutrientes disminuye a medida que el ancho de la banda disminuye dependiendo del pH del suelo.....	33
Figura 2. Dinámica de minerales en la sangre. Otros factores que afectan a los minerales en la sangre son el ayuno, las infecciones, el estrés oxidativo, los glucocorticoides, las hormonas, y las interacciones con otros nutrientes.	38
Figura 3. Participación porcentual de los principales países productores de leche bovina en el mundo.	49
Figura 4. Participación porcentual por entidad federativa de la producción de leche bovina en México.	51
Figura 5. Principales componentes de la leche.....	53
Figura 6. Medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar del contenido de Cu, Zn y P en el agua de bebida de cinco ranchos con bovinos doble propósito durante las épocas de lluvias, nortes y secas del trópico húmedo de México.	129
Figura 7. Medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar de las concentraciones de Fe, Zn, Mg y P en suelos de cinco ranchos ganaderos de doble propósito durante tres épocas del año en el trópico húmedo de México.	132
Figura 8. Medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar de las concentraciones de Fe, Zn, Mg y P en los forrajes de cinco ranchos ganaderos de doble propósito durante tres épocas del año en el trópico húmedo de México.	136
Figura 9. Medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar de la concentración de Cu, Fe, Zn, Ca, Na, K y P en suero sanguíneo de bovinos de doble propósito durante tres épocas del año en el trópico húmedo de México.	140

Figura 10. Medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar de la concentración de Fe, Zn y P en suero sanguíneo de vacas de doble propósito y sus crías durante tres épocas del año en el trópico húmedo de México.	142
Figura 11. Medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar de la concentración de Cu, Fe, Zn, Ca, Na, K y P en suero sanguíneo de vacas doble propósito y sus crías en tres épocas del año en el trópico húmedo de México.	142
Figura 12. Precipitación pluvial (PP), temperatura (T°), peso seco acumulado (PSA; $n= 720$) y altura (ALT; $n= 7200$) del forraje durante el año en condiciones de trópico húmedo en el sureste de México.	160
Figura 13. Altura (ALT; $n= 7200$) y peso seco acumulado (PSA; $n= 720$) del forraje durante el año en condiciones de trópico húmedo en el sureste de México.	161
Figura 14. Altura (ALT) y peso seco acumulado (PSA) de forrajes de cinco ranchos en tres épocas del año en condiciones de trópico húmedo en el sureste de México.	163
Figura 15. Altura (ALT) y peso seco acumulado (PSA) de cuatro especies forrajeras de cinco ranchos a través del año en condiciones de trópico húmedo en el sureste de México.	165
Figura 16. Temperatura (T°) y precipitación pluvial (PP) durante el periodo de estudios en Catazajá, Chiapas.	179
Figura 17. Contenido de proteína cruda (PC) en forrajes en tres épocas del año en el sureste de México.	183
Figura 18. Contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) en forrajes a través del año en el sureste de México.	184
Figura 19. Contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) en forrajes en tres épocas del año en el sureste de México.	185

Figura 20. Tasa de crecimiento (TC; $n= 360$) del forraje, condición corporal (CC; $n= 971$) y producción de leche (PL; $n= 971$) de vacas en un sistema de producción de bovinos de doble propósito en el sureste de México.	204
Figura 21. Condición corporal (CC; $n= 971$) y producción de leche (PL; $n= 971$) de vacas en un sistema de producción de doble propósito en el sureste de México.	206
Figura 22. Producción de leche de los genotipos Holstein x Gyr ($n= 98$) y <i>Bos indicus</i> - <i>Bos taurus</i> ($n= 873$) en tres épocas del año en un sistema de doble propósito en el sureste de México.	209
Figura 23. Composición de la leche de los genotipos <i>Bos taurus</i> - <i>Bos indicus</i> y Holstein x Gyr en el sureste de México.....	229

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, por la oportunidad y el apoyo brindado para la terminación de mis estudios de doctorado, y de esa manera lograr uno de mis más deseados objetivos en la vida, por lo que estaré eternamente agradecido.

A la Universidad Autónoma de Chiapas por los recursos de transporte prestados con lo cual fue posible la realización de la fase de campo de este trabajo de investigación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo con la beca sin la cual la realización de mis estudios de doctorado no hubiera sido posible.

A mis asesores el Dr. Maximino Huerta Bravo, Dr. Raymundo Rangel Santos, Dr. Alejandro Lara Bueno, y Dr. Jorge Luis de la Rosa Arana por su apoyo en el desarrollo y revisión del trabajo de investigación.

Al Dr. Maximino Huerta Bravo por las facilidades otorgadas para desarrollarme profesionalmente ya que sin su apoyo mi estancia en el Posgrado en Producción Animal hubiera sido imposible.

Al maestro Roberto Sosa Rincón, por su amistad, apoyo y motivación, así como el apoyo en la gestión de recursos para el desarrollo del proyecto de investigación.

A todos mis compañeros y amigos del Posgrado en Producción Animal por su amistad durante mi estancia, especialmente a Abraham Santín Velasco, Constantino Romero Márquez, Jesús Quintero, Juan Enrique Serrano, Rogelio Montero por su amistad y apoyo.

DEDICATORIA

A mi hijo Juan Carlos para que en el futuro le sirva de motivación para seguir el camino del estudio y la dedicación para salir adelante en la vida y a mi esposa Fany, porque la espera y la distancia en los momentos difíciles les serán recompensadas.

Juan Carlos

DATOS BIOGRÁFICOS

Nombre: Juan Carlos Muñoz González

Lugar de nacimiento: Col. Joaquín Miguel Gtz.
Mpio. de Villaflores, Chiapas, México.

Teléfono: (553) 03 6 60 27

E-mail: agronojuan@hotmail.com;
juan.munoz@UNACH.MX



FORMACIÓN ACADÉMICA

Doctor en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo, México, en el periodo enero de 2012 a diciembre de 2015.

Maestría en Ciencias en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo, México. En el periodo de agosto de 2003 a agosto de 2005.

Ingeniero Agrónomo en Producción Animal, Universidad Autónoma de Chiapas, Campus V, ciudad de Villaflores, Chiapas, México. En el periodo 1997-2001.

CAPÍTULO 1

EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE BOVINOS DE DOBLE PROPÓSITO EN CATAZAJÁ, CHIAPAS, MÉXICO

EVALUATION OF DUAL-PURPOSE CATTLE PRODUCTION SYSTEM IN CATAZAJA, CHIAPAS, MEXICO

1 RESUMEN GENERAL

El objetivo de este trabajo fue evaluar un sistema de producción de bovinos doble propósito para detectar las limitantes nutricionales, forrajeras, productivas y reproductivas. Se analizaron los minerales Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y P en el agua, suelo, forrajes y suero sanguíneo del ganado en tres épocas del año. Se tomaron muestras mensuales de forrajes utilizando jaulas de exclusión determinando el peso seco acumulado (PSA), tasa de crecimiento (TC), contenido de minerales, proteína cruda (PC), fibra detergente ácido (FDA) y fibra detergente neutro (FDN). Se evaluaron datos reproductivos, condición corporal (CC), producción de leche (PL), la cantidad de grasa, proteína, caseína, lactosa, sólidos no grasos (SNG), sólidos totales (ST) y pH de la leche de las vacas en pastoreo para compararlos con estándares nacionales de calidad. La concentración mineral en forraje y suero sanguíneo difirió ($p \leq 0.001$) entre épocas. Hubo efecto ($p < 0.0001$) de especie forrajera en las concentraciones de todos los minerales estudiados. Hubo efecto ($p \leq 0.001$) de rancho, mes y época en el PSA, TC PC, FDN y FDA en el forraje acumulado y la CC y PL de las vacas. La calidad nutricional de los forrajes fue mayor ($p \leq 0.05$) en las jaulas de exclusión comparada con los forrajes disponibles en la pradera. En la época de secas se presentó la menor producción de forraje, CC y PL. Hubo diferencias ($P \leq 0.001$) entre las épocas del año en los contenidos de grasa, proteína, caseína, lactosa y SNG de la leche. El ganado bovino de doble propósito del sureste de México presenta deficiencias de cobre y zinc en las tres épocas del año. La producción y calidad nutricional de los forrajes y la leche en condiciones de trópico húmedo es afectada por la época del año.

Palabras clave: trópico, agua, suelo, forraje, suero sanguíneo, minerales, leche, época

2 GENERAL ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate a production system of dual-purpose cattle to detect nutritional, forage, productive and reproductive constraints. Water, soil, forage and blood serum of cattle were sample during three seasons to analyze Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K, and P. Forage samples were also taken monthly using exclusion cages to determinate accumulated dry weight (ADW), growth rate (GR), mineral content, crude protein (CP), acid detergent fiber (ADF) and neutral detergent fiber (NDF). Reproductive data, body condition score (BCS), milk production (MP), the amount of fat, protein, casein, lactose, solids-non-fat (SNF), total solids (TS) and pH of the milk from grazing cows were compared with national standards. The mineral concentrations in forage and blood serum were different ($p \leq 0.001$) between seasons. There was effect ($p < 0.0001$) of forage species in the concentrations of all the minerals studied. There was effect ($p \leq 0.001$) of ranch, month and season in AWD, GR, CP, NDF and ADF in forage accumulated and MP and BCS in the cows. The nutritional quality of forages is higher ($p \leq 0.05$) in forage collected in the exclusion cages, that the forage available in the meadow. The lowest forage production, BCS and MP was in the dry season. There was differences ($p \leq 0.001$) between seasons in the contents of fat, protein, casein, lactose and SNF in milk. The dual-purpose cattle in southeastern Mexico had deficiencies of copper and zinc in the three seasons of the year. The quantity and nutritional quality of forages and milk in humid tropical conditions are affected by season.

Keys word: tropic, water, soil, forage, blood serum, minerals, milk, season

CAPÍTULO 2

3 INTRODUCCIÓN GENERAL

Las proyecciones de la FAO (2006) indican que en el año 2050 seremos alrededor de 9,500 millones de personas en el mundo y que se consumirán 2.3 veces más carne de aves y entre 1.4 y 1.8 veces más de otros productos animales de lo consumido en el año 2010. El mayor crecimiento se espera en los países en desarrollo, los cuales se prevé van a rebasar a los países desarrollados en su consumo total de productos animales (FAO, 2011).

Los productos animales (carne, leche y huevo) proporcionan proteínas con aminoácidos como lisina y treonina, también aportan zinc, vitamina A, vitamina B₁₂ y calcio, que realizan funciones importantes en la salud (D'Mello, 2012). La carne también aporta hierro, cuya deficiencia se estima afecta a 2 mil millones de personas (Shelty, 2010) y pone en riesgo el desarrollo mental de 40 a 60 por ciento de niños en países en desarrollo (UNICEF, 2007).

Duplicar la oferta de alimentos representa una carga considerable sobre los ya presionados recursos naturales, los cuales no siempre son convertidos eficientemente en carne, leche o huevo. Mejorar la eficiencia productiva y minimizar los desperdicios a lo largo de la cadena de producción de los productos animales es un reto hacia el cumplimiento de la creciente demanda (FAO, 2011).

Una de las alternativas para satisfacer esta demanda futura de alimento puede ser el sistema de producción de doble propósito (SPDP). Sin embargo, existen muchos factores que restringen el mejoramiento de este sistema, tanto de índole geográfico, biológico, social, económico, así como técnico. En conjunto, limitan el conocimiento real de sus recursos potenciales, además, el casi nulo uso de registros de producción no permiten programar y evaluar las actividades ganaderas encaminadas al mejoramiento productivo para mejorar la rentabilidad de los hatos (Nicholson *et al.*, 1995). Esta rentabilidad está relacionada con su respuesta reproductiva, la cual es regulada principalmente por factores como el amamantamiento, el consumo de nutrientes y el estado

nutricional (Wettemann *et al.*, 2003). En el trópico, en la mayoría de los casos, la desnutrición es un factor limitante en la producción de animales en pastoreo, siendo la energía y la proteína los factores insuficientes; sin embargo, muchos investigadores han observado que los desbalances minerales en suelos y forrajes son los responsables de la baja producción y los problemas reproductivos entre los rumiantes en pastoreo en los trópicos (McDowell *et al.*, 1997). Además, el estado nutricional del hato también puede ser evaluado a través de la condición corporal (CC), ya que refleja las reservas corporales disponibles para el metabolismo, crecimiento y lactación (Wright *et al.*, 1987).

Por otro lado, en muchos reportes de investigación se suele hacer la reseña climatológica y de la situación geográfica (altitud, latitud y longitud) del sitio donde se realizó la investigación, pero pocas veces se considera cualquiera de los factores que integran estas descripciones como variables independientes del diseño experimental, salvo en casos muy específicos, por lo que su uso se resume a discutir o explicar algún cambio inesperado en la respuesta. Efectivamente, las condiciones climáticas son una consideración elemental para explicar las respuestas de los sistemas animales, pues los factores y elementos del clima determinan la naturaleza de la superficie donde descansa la biósfera y sus habitantes (Hernández *et al.*, 2006).

El conjunto del clima, sean las condiciones astronómicas, geográficas y meteorológicas, definen las características particulares de una región (Tamayo, 1985), razón suficiente para comenzar por señalar las condiciones precisas del lugar donde se lleva a cabo un estudio, y así, con el debido fundamento, discutir las afirmaciones y refutaciones surgidas.

Por todo lo anterior, se considera necesaria la evaluación nutricional integral de los componentes agua, suelo, forraje y animales; así como la disponibilidad de forraje, la condición corporal del animal, el uso de registros productivos, reproductivos, así como la calidad de la leche a través del año, que permitan identificar los problemas en el SPDP para tomar decisiones e implementar las

medidas correctivas necesarias para incrementar la eficiencia productiva de este sistema.

Objetivo general

Evaluar, de forma integral, un sistema de producción de bovinos de doble propósito para detectar las limitantes nutricionales, forrajeras, productivas y reproductivas, que permitan sugerir las medidas correctivas necesarias.

Objetivos específicos:

- a) Evaluar el estado nutricional del ganado mediante la evaluación de los componentes agua, suelo, forrajes y suero sanguíneo del ganado en tres épocas del año para determinar desbalances nutricionales.
- b) Determinar la cantidad y calidad nutrimental del forraje a través del año para detectar las épocas críticas.
- c) Evaluar la condición corporal de las vacas para valorar su impacto en la producción y reproducción.
- d) Determinar el porcentaje de pariciones para evaluar la fertilidad del ganado.
- e) Determinar las retenciones placentarias y la mortalidad del ganado
- f) Determinar la producción y calidad de la leche para evaluar la eficiencia productiva del ganado, el valor nutritivo de la leche y compararla con estándares nacionales de calidad.

4 CAPÍTULOS DE LA TESIS

A continuación se presentan los capítulos y los temas abordados en este trabajo de investigación.

CAPÍTULO 3: REVISIÓN DE LITERATURA.

Se presenta información, principalmente de minerales en los componentes agua, suelo y suero sanguíneo de bovinos, así como de la condición corporal de bovinos, producción de forraje, fibra detergente ácido, fibra detergente neutro y calidad de la leche.

CAPÍTULO 4: AVANCES EN EL ESTUDIO DE MACRO Y MICRO MINERALES EN PLANTAS CONSUMIDAS POR LOS RUMIANTES EN MÉXICO.

En este capítulo se presenta la información disponible de las investigaciones realizadas de la evaluación mineral en los forrajes para la alimentación de rumiantes en México.

CAPÍTULO 5: PERFIL MINERAL EN BOVINOS DE DOBLE PROPÓSITO EN DIFERENTES ÉPOCAS DEL AÑO EN EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO.

Se presenta información del perfil mineral en muestras de agua, suelo, forraje, suero sanguíneo de bovinos a través del año en cinco ranchos en el noreste de Chiapas.

CAPÍTULO 6: EVALUACIÓN MINERAL DE FORRAJES DEL TRÓPICO HÚMEDO MEXICANO.

Se presenta información de la concentración mineral de diferentes especies forrajeras tropicales.

CAPÍTULO 7: PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA DE FORRAJES EN CONDICIONES DE TRÓPICO HÚMEDO EN EL SURESTE DE MÉXICO.

Se presenta información obtenida de altura, materia seca y tasa de crecimiento en los forrajes a través del año.

CAPÍTULO 8. CALIDAD NUTRIMENTAL DEL FORRAJE EN CONDICIONES DE TRÓPICO HÚMEDO EN EL SURESTE DE MEXICO.

Se presenta información obtenida del contenido de proteína cruda, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido y minerales en los forrajes a través del año.

CAPÍTULO 9. TASA DE CRECIMIENTO DEL FORRAJE, CONDICIÓN CORPORAL Y PRODUCCIÓN DE LECHE DE VACAS DE DOBLE PROPÓSITO EN EL SURESTE MEXICANO.

En este capítulo se presenta información obtenida de la condición corporal de los animales, así como de producción de leche y tasa de crecimiento de forrajes del trópico húmedo mexicano.

CAPÍTULO 10. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA LECHE DE VACAS DE DOBLE PROPÓSITO EN EL SURESTE MEXICANO.

En este capítulo se presenta información obtenida del análisis fisicoquímico de la leche de vacas de doble propósito en condiciones de trópico húmedo. Además, se hizo la comparación de la calidad de la leche con los estándares de calidad mexicanos.

CAPÍTULO 3

5 REVISIÓN DE LITERATURA

5.1 Definición de trópico

El término hace referencia a una porción del globo terrestre o a un tipo de clima. En el primer sentido, trópico o zona tropical es la franja que imaginariamente podría trazarse rodeando el globo terrestre, entre los paralelos que corresponden al Trópico de cáncer, en el hemisferio boreal y al Trópico de Capricornio, en el hemisferio austral. Sin embargo, dentro de esta franja se encuentran países y ciertas regiones que climatológicamente salen de la clasificación de trópico y, por otra parte, hay áreas en ciertos países cuya ubicación cartográfica sale de la franja tropical, pero quedan clasificadas dentro de los climas tropicales. Por lo tanto, se considerarán zonas tropicales aquellas que, siguiendo el criterio de Köppen (Tamayo, 1985), se caracterizan por un régimen térmico en que la temperatura media mensual durante todo el año es superior a 18 °C y la precipitación media anual excede los 800 mm, y cuya clasificación climatológica se representa con el símbolo A.

Un aspecto importante a tomar en cuenta es que para considerar un ambiente como tropical, los terrenos en estas áreas no deben rebasar los 1,000 m de altitud media sobre el nivel del mar (Tamayo, 1985).

5.2 El trópico en México

México es un ejemplo de un lugar con climatología contrastante. La situación intertropical de la mitad sur del país y su proximidad a las dos mayores masas de agua del planeta, los océanos Pacífico y Atlántico, condicionan poderosamente los climas de México. Además, la complicada orografía del país, impide hacer generalizaciones, al pensar en grandes extensiones en las que prevalezca un tipo de clima, porque la latitud, variable en una corta área, provoca modificaciones tan fuertes, que es necesario tener presente la existencia de numerosos microclimas (Tamayo, 1985).

En México, la zona considerada tropical, cubre las regiones planas con altitudes hasta los 1,000 msnm, incluyendo la Península de Yucatán, y por la costa del Golfo de México, se extiende hasta las cercanías de Soto la Marina, en el estado de Tamaulipas, mientras que por la costa del Pacífico, hasta muy cerca del paralelo 26° latitud norte, rebasando ligeramente el Trópico de Cáncer en la parte oriental y un poco en la occidental (Tamayo, 1985).

La región tropical cuenta con una superficie de 472,789 km² e incluye tanto los estados del trópico seco, como los de trópico húmedo: Campeche, Colima, Chiapas, Guerrero, Morelos, Nayarit, Quintana Roo, Sinaloa, Tabasco, Veracruz y Yucatán, de acuerdo con la división por zonas climáticas de México, propuesta por la Secretaría de Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR, 2000),

Tamayo (1985) da una reseña de los climas tropicales en México, de acuerdo con los criterios climatológicos propuestos por Köppen y las modificaciones y contribuciones de García de Miranda. Las áreas del Golfo de México y del Pacífico, clasificadas como Aw, presentan precipitaciones superiores a los 1,600 y 1,400 mm, respectivamente. Cabe señalar que la pequeña franja costera del noroeste de Yucatán está clasificada fuera de los climas tropicales y se presenta como clima seco estepario (BS), con temperatura media anual superior a los 18 °C y precipitación media anual inferior a los 750 mm. Esta zona presenta vegetación de estepa, caracterizada por plantas herbáceas y xerófilas.

5.3 Aspectos generales de los minerales

Importancia

Los minerales existen en las células y tejidos del organismo animal en diversas combinaciones funcionales y químicas, y en concentraciones características dependientes del elemento y tejido. Las concentraciones de los elementos esenciales deben mantenerse dentro de unos límites estrechos para salvaguardar la integridad funcional y estructural de los tejidos, y para mantener

inalterado el crecimiento, la salud y la productividad de los animales (Suttle, 2010).

La ingestión continua de una ración deficiente, desequilibrada o excesiva de un mineral, provoca cambios en la forma o concentración de éste en tejidos y fluidos corporales, hasta llegar a valores por arriba o por abajo de los límites permisibles. En tales circunstancias, pueden desarrollarse lesiones bioquímicas, viéndose adversamente afectadas las funciones fisiológicas y presentándose trastornos estructurales que varían con el elemento, el grado y la duración de la deficiencia dietética (Chesters y Arthur, 1988), la edad, el sexo y la especie del animal afectado (Underwood, 1981).

Los mecanismos homeostáticos responden para retrasar o minimizar la presentación de los cambios inducidos por la deficiencia, desequilibrio o exceso de minerales de la ración. Para la prevención final de dichos cambios se requiere que el animal reciba una ración apetecible, no tóxica y que contenga los minerales requeridos, así como otros nutrientes, en cantidades adecuadas, proporciones y formas asimilables (Underwood y Suttle, 2003).

Un gran número de animales, en muchas partes del mundo, consumen raciones que no satisfacen sus necesidades nutricionales. En consecuencia, aparecen desórdenes nutritivos que oscilan entre enfermedades agudas y severas por deficiencia o toxicidad mineral, caracterizada por signos clínicos bien definidos, desde cambios patológicos y alta mortalidad, hasta cambios ligeros y transitorios difíciles de diagnosticar con certeza, y que suelen expresarse en el crecimiento, producción y fertilidad insatisfactoria o poco económica (Underwood y Suttle, 2003).

Por otro lado, el desbalance nutricional debido a minerales, puede causar severos problemas reproductivos de origen fisiológico como abortos, crías débiles, anestro, estros silenciosos y retenciones de placenta (Haenlein, 1987).

La suplementación mineral ha provocado mejoras en la producción de leche, la reproducción y en el consumo de alimento (McDowell *et al.*, 1984; Haenlein, 1991).

Las deficiencias o toxicidades ligeras de minerales adquieren gran importancia en la nutrición del ganado, por la difusión y facilidad con que pueden ser confundidas con los efectos de agotamiento por desnutrición, deficiencia proteica o varios tipos de infección (McDowell *et al.*, 1993).

5.4 Clasificación y funciones generales de los minerales

Los minerales se clasifican en macro y microminerales. Los macroelementos esenciales que requieren ser cubiertos en la alimentación del ganado bovino son: calcio (Ca), fósforo (P), sodio (Na), cloro (Cl), potasio (K), magnesio (Mg) y azufre (S); mientras que en cantidades más pequeñas se requieren los microelementos: cobre (Cu), hierro (Fe), cinc (Zn), cobalto (Co), yodo (I), manganeso (Mn) y selenio (Se) (NRC, 2007).

De acuerdo a Suttle (2010), existen cuatro grandes funciones de los minerales: estructural, fisiológica, catalítica y reguladora; aunque no son exclusivas de ningún elemento en particular y todas ellas pueden ser desempeñadas por un mismo elemento en un mismo individuo. Estas funciones se describen a continuación:

Estructural. Los minerales pueden formar componentes estructurales de órganos y tejidos corporales, tal como sucede con el calcio, fósforo, magnesio, flúor y silicio en huesos y dientes, y con el fósforo y el azufre en las proteínas musculares. Los minerales como el cinc y el fósforo forman parte de moléculas y membranas contribuyendo a su estabilidad estructural.

Fisiológica. Los minerales se presentan como electrolitos en tejidos y fluidos corporales, intervienen en el mantenimiento de la presión osmótica, del equilibrio ácido-base, de la permeabilidad de la membrana y de la irritabilidad

tisular. Ejemplos de estos elementos son el sodio, potasio, cloro, calcio y magnesio en sangre, líquido cefalorraquídeo y jugo gástrico.

Catalítica. Los minerales pueden actuar como catalizadores de sistemas enzimáticos y hormonales, como componentes integrales y específicos de la estructura de metaloenzimas o como activadores menos específicos de dichos sistemas. El número y la variedad de las metaloenzimas identificadas han aumentado en las dos últimas décadas.

Reguladora. En los últimos años se ha descubierto que los minerales intervienen en la regulación de la replicación y diferenciación celular; el calcio, por ejemplo, influye en las señales de transducción y el cinc en las señales de transcripción, además de otras funciones reguladoras importantes, como por ejemplo el yodo que es constituyente de la tiroxina.

5.4.1 Funciones de los microminerales

Los autores O'Dell y Sunde (1997) y Suttle (2010) mencionan que las funciones catalíticas son en mayor medida ejercidas por los microminerales (Cuadro 1), mientras que las funciones estructurales, fisiológicas y reguladoras de señales son realizadas de manera general por los macrominerales (Cuadro 2). Al no desarrollar funciones únicas, significa que los elementos están implicados en más de una función de manera simultánea en animales mayores, bacterias, parásitos y plantas (Waldron *et al.*, 2009; Merchant, 2010).

La actividad de catálisis es compartida por macrominerales y microminerales, y es tan imprescindible la disponibilidad de estos elementos (principalmente metales) para que más de 50% de las enzimas puedan funcionar por la asociación específica con alguno de ellos (Waldron *et al.*, 2009).

En las metaloenzimas, el metal se encuentra firmemente ligado a la porción proteica, con un número fijo de átomos de metal por mol de proteína. El metal no puede ser desplazado sin la pérdida de la actividad enzimática y generalmente no puede ser sustituido por otro metal. De todas formas, los

átomos de zinc, en diversas enzimas, pueden ser sustituidos por cobalto y cadmio sin perder la actividad enzimática total (Vallee, 1971); y las metaloenzimas no son siempre del dominio total de un sólo metal. Algunas de las metaloenzimas consideradas importantes para el ganado se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Funciones de algunas enzimas que requieren microminerales.

Mineral	Enzima, hormona	Funciones principales
Cu	Citocromo oxidasa	Oxidasa terminal
	Lisil oxidasa	Oxidación de lisina
	Ceruloplasmina (ferroxidasa)	Utilización del hierro: transporte de Cu
	Superóxido dismutasa	Dismutación de superóxido (O_2^-)
Fe	Succinato deshidrogenasa	Oxidación aerobia de carbohidratos
	Citocromo a, b y c	Transferencia de electrones
	Catalasa	Protección frente a H_2O_2 (peróxido de hidrógeno). Respiración celular
Zn	Anhidrasa carbónica	Formación de dióxido de carbono
	Alcohol deshidrogenasa	Metabolismo del alcohol
	Carboxipeptidasa A	Digestión de proteínas
	Fosfatasa alcalina	Hidrólisis de ésteres de fosfato
	Polimerasa nuclear (A)	Replicación celular
Mn	Colagenasa	Reparación tisular
	Piruvato carboxilasa	Metabolismo de piruvato
	Superóxido dismutasa	Antioxidante para remover O_2^-
	Glicosilaminotransferasa	Síntesis de proteoglicanos
Se	Glutación peroxidasas	Traslado de H_2O_2 e hidroperóxido
	Deiodinasas	Conversión de la tiroxina
	Tiorredoxinasas	Protección contra estrés oxidativo
Co	Selenofosfato sintetasa 2	Reacción de selenuro con AMP
	Metilmalonil-Co A mutasa	Incorpora propionato al metabolismo para utilizarlo como energía
	Metionina sintetasa	Regeneración de metionina a partir de homocisteína
I	Tiroxina	Ambas participan en: incremento del metabolismo, temperatura corporal y ritmo cardíaco, absorción de glucosa, estimulan el crecimiento y la maduración, y anabolismo de proteínas.
	Triyodotironina	

Fuente: adaptado de Suttle (2010).

La importancia del Cu para la reproducción, el desarrollo óseo, crecimiento, desarrollo del tejido conectivo y la pigmentación de los apéndices cutáneos (pelo, lana y plumas) es incuestionable. Se han probado conexiones enzimáticas específicas con la tirosinasa para la pigmentación y lisil oxidasa para el desarrollo del tejido conectivo (Suttle, 1987).

La enzima superóxido dismutasa (SOD), que cataliza la dismutación del radical libre superóxido, puede contener cobre y cinc o manganeso, dependiendo de su origen. El Fe es un componente de la hemoglobina, mioglobina y citocromos (Chesters y Arthur, 1988). La hemoglobina se almacena en los glóbulos rojos y permite que los tejidos respiren. La mioglobina es la porfirina-Fe más simple y menos abundante, que se encuentra en el músculo, y su alta afinidad por oxígeno completa el transporte de la hemoglobina al interior celular (Underwood y Suttle, 2003). La SOD es una metaloenzima ampliamente distribuida por el organismo; posee 2 átomos de Cu y Zn por molécula. Así como la ceruloplasmina (Cp) es importante como antioxidante plasmático, la SOD actúa como principal antioxidante intracelular. Su función es inactivar los iones superóxidos con la producción de peróxido de hidrógeno y oxígeno. El peróxido de hidrógeno, aún tóxico, es inactivado por las enzimas catalasa y glutatión peroxidasa (Frieden, 1980). La tirosinasa participa en la oxidación del aminoácido tirosina, paso metabólico involucrado en la formación de melanina. Por ello, la ausencia congénita de esta enzima causa albinismo. Los pasos iniciales de formación de melanina son también comunes a la formación de adrenalina y noradrenalina (Blanco, 1989). La citocromo-c-oxidasa, es un complejo que contiene los citocromos a y a₃ de la cadena respiratoria, posee dos átomos de Cu, además de dos grupos hemo con sus respectivos átomos de Fe. Representa la enzima terminal de la cadena respiratoria y cataliza la transferencia de 4 electrones al O₂⁻ para formar 2 moléculas de agua y ATP. Su ubicuidad (capacidad de estar en todas partes del organismo) y función para la obtención de energía, hacen que esta enzima sea vital para el animal. Se han identificado varios tipos de monoamino oxidasas en el organismo. Ubicadas en la membrana mitocondrial externa, se encargan de producir la desaminación

oxidativa de diversas monoaminas como adrenalina, noradrenalina, tiramina, triptamina y serotonina (Blanco, 1989). Una enzima similar, denominada lisil oxidasa, se encarga de producir la desaminación oxidativa de residuos de lisina en las fibras de colágeno y elastina. Esta reacción permite la formación de puentes cruzados en el colágeno y la elastina, los cuales otorgan la resistencia mecánica y las características funcionales de estas fibras (Albert *et al.*, 1990).

Las concentraciones y actividades de las asociaciones mineral-enzima, en células y tejidos en particular, han sido relacionadas con las manifestaciones por deficiencia o toxicidad de dichos elementos en el organismo animal. En algunos casos se manifiestan serios desórdenes clínicos y patológicos como consecuencia de anomalías en los aportes minerales que no pueden ser explicadas en términos bioquímicos (Chesters y Arthur, 1988).

Dos de los elementos minerales, el yodo y el cobalto, son especialmente importantes porque según los conocimientos actuales, su importancia funcional puede explicarse a través de su presencia en la tiroxina (yodo) y la vitamina B₁₂ (cobalto). La tiroxina y la vitamina B₁₂, y en consecuencia el yodo y el cobalto, intervienen en diferentes procesos metabólicos (Underwood y Suttle, 2003).

5.4.2 Funciones de los macrominerales

Las funciones del calcio y del fósforo son predominantemente para formar la base mineral de los tejidos esqueléticos. Debido a ello, muchas de sus actividades en tejidos blandos y fluidos del organismo han sido poco estudiadas por los expertos en nutrición al establecer los requerimientos. Estos dos minerales se combinan en los huesos para proporcionar resistencia, forma y rigidez, protegiendo los tejidos blandos y proporcionando puntos de inserción a los músculos, mientras forman una reserva mineral que puede ser movilizada en situaciones de emergencia metabólica y nutritiva, regulando su presencia en sangre como respuesta a deficiencias prolongadas en la ración (Cuadro 2).

Cuadro 2. Principales funciones de macrominerales.

Mineral	Funciones principales
Calcio	Forma parte de la estructura de huesos y dientes, transmisión de impulsos del tejido nervioso, contracción muscular, coagulación sanguínea, permeabilidad celular, producción de leche.
Fósforo	Forma parte de la estructura de huesos y dientes, fosforilación, compuestos de fosfato de alta energía. El fosfato es el mayor radical aniónico del fluido intracelular, participa en el balance ácido-base, componente del ARN, ADN y sistemas enzimáticos.
Magnesio	Desarrollo de huesos, contracción muscular, activador enzimático primordialmente en el sistema glicolítico. Participa en la fosforilación oxidativa, ayuda a disminuir la irritabilidad de los tejidos.
Sodio	Catión mayor del fluido extracelular involucrado en la regulación de la presión osmótica y el balance ácido-base, transmisión del impulso nervioso, preservación de la irritabilidad normal de la célula muscular, permeabilidad celular.
Potasio	Catión mayor del fluido intracelular involucrado en la regulación de la presión osmótica y el balance ácido-base, contracción muscular cardíaca, fosforilación de la creatina. Influye en el metabolismo de los carbohidratos favoreciendo la entrada de glucosa a las células.
Cloro	Principal anión involucrado en la presión osmótica y el balance ácido-base. Anión principal de los jugos gástricos como parte del ácido clorhídrico.
Azufre	Forma parte de aminoácidos con S, constituyente del sulfato de condroitina, tiamina y biotina, indispensable en la síntesis de proteína.

Fuente: adaptado de McDowell y Arthington (2005).

La regulación del calcio es fundamental, porque este mineral juega un papel importante al intervenir en señales intracelulares y también en la transmisión de impulsos nerviosos en el medio extracelular. El fósforo participa en una amplia gama de reacciones metabólicas que intervienen en la transferencia de energía. Cada proceso fisiológico que implique la ganancia o pérdida de energía, y casi cualquier forma de intercambio energético en las células, implica la formación o rotura de enlaces de fosfato altamente energético. Además, el fósforo es una parte integral de las moléculas proteínicas y de los ácidos nucleicos, y sus derivados son importantes en la replicación celular y la transmisión del código genético (Underwood y Suttle, 2003).

El magnesio es importante en el metabolismo de los carbohidratos, lípidos, ácidos nucleicos y proteínas, sobretudo como catalizador de una amplia gama de enzimas que precisan de este elemento para facilitar la unión enzima-sustrato (Ebel y Günther, 1980). Por ello, el magnesio es necesario para la fosforilación oxidativa, que conduce a la formación de ATP, que sostiene procesos como la bomba $\text{Na}^+ : \text{K}^+$; oxidación del piruvato y conversión del α -cetoglutarato a succinil coenzima A; la catalización de la mayoría de transportadores del fosfato, incluyendo la fosfatasa alcalina, hexoquinasa y desoxiribunucleasa; y la β -oxidación de los ácidos grasos (Shils, 1997).

El potasio contribuye a la regulación del balance ácido-base y participa en la respiración mediante el intercambio con cloro. El potasio también facilita la actividad de algunas enzimas e influye sobre muchas reacciones intracelulares, donde intervienen fosfatos con efectos sobre actividades enzimáticas y contracción muscular (Underwood y Suttle, 2003).

Las funciones de los minerales sólo pueden ser cumplidas si las cantidades ingeridas son suficientes para mantener en equilibrio el crecimiento, desarrollo del organismo y la reproducción de las especies (Underwood y Suttle, 2003).

La clasificación en microminerales y macrominerales está ajustada con la concentración en los organismos, y no indica mayor o menor funcionalidad. Sin embargo, esta funcionalidad puede ser alterada en ciertas condiciones, pues no se requiere para todas las funciones la misma concentración orgánica del mineral (McDonald *et al.*, 2006; Suttle, 2010), siendo afectadas principalmente aquellas funciones que requieren altas concentraciones orgánicas. En este sentido, las interacciones entre los minerales, son las que finalmente permitirán o no, que estos alcancen formas funcionales en el organismo.

Las interacciones entre los propios minerales y con otros nutrientes, pueden ser sinérgicas o antagónicas, y pueden ocurrir en la propia constitución del alimento, el tracto digestivo y el metabolismo celular y tisular de los animales (Georgievskii *et al.*, 1982). Estas interacciones intervienen en el acceso

potencial de la mucosa intestinal a determinado mineral (accesibilidad), en la transferencia potencial del mineral absorbido por la mucosa hacia el compartimiento de transporte (capacidad de absorción), en la retención potencial del mineral transferido (capacidad de retención) y finalmente, en la incorporación potencial del mineral retenido en formas funcionales (funcionalidad), las cuales, son componentes de la biodisponibilidad de los minerales y determinantes del valor de los alimentos como fuentes de los mismos (Suttle, 2010).

5.5 Signos clínicos asociados a desbalances minerales

La presencia de desbalances minerales no siempre es fácil de apreciar, pueden asociarse de manera aguda con cambios anatómicos y fisiológicos fácilmente perceptibles, o por el contrario, asociarse a cuadros subclínicos de difícil diagnóstico (Cuadros 3 y 4) que se confunden entre los propios desbalances minerales o bien con otro tipo de desbalances nutricionales y enfermedades (Álvarez, 2001; McDowell y Arthington, 2005). Entre los signos más evidentes de la desnutrición mineral que padecen los animales en pastoreo en condiciones tropicales están el crecimiento lento y baja fertilidad (Pfander, 1971; Stonaker, 1975; Preston, 1982).

Stonaker (1975) cita reportes para ganancias de peso en regiones tropicales con oscilaciones entre 1 a 1.5 kg animal⁻¹ año⁻¹ (Colombia) hasta 264 kg animal⁻¹ año⁻¹ (Venezuela). Este autor también cita que en algunas sabanas africanas, los animales que ganaron peso durante la época de lluvias, conservaron sólo entre 25 a 30% del peso máximo alcanzado una vez establecida la época de estiaje, requiriendo los animales de seis a diez años para lograr peso para el mercado cuando no se suministraban suplementos. En tanto las hembras requirieron de tres y medio a cuatro años para tener su primer parto, y comúnmente sólo 50% de las hembras servidas rara vez lograron dos partos en dos años consecutivos.

Anomalías similares describen Ahmed *et al.* (2002) respecto al tiempo para alcanzar la pubertad en becerras de diferentes razas de cuatro sitios distintos en Sudán. A pesar de que todos los grupos presentaron concentraciones deficientes de zinc y cobre en suero sanguíneo, y sólo uno de fósforo, el grupo que alcanzó más pronto la pubertad (840 días), tuvo el mejor estado de cobre y acceso a alimento concentrado y forraje con los mayores contenidos de zinc.

Cuadro 3. Signos de deficiencia y toxicidad causados por macrominerales en el ganado bovino.

Elemento	Signos clínicos	
	Deficiencia	Toxicidad
Calcio	Debilidad ósea, crecimiento retrasado, producción baja de leche y tetania.	Anormalidades óseas, reducción del consumo de alimento y ganancia de peso.
Fósforo	Huesos frágiles, debilidad general, pérdida de peso, delgadez excesiva, producción de leche y reproducción reducidas, pica.	Similar a los signos causados por el exceso de calcio.
Magnesio	Tetania e irritabilidad, convulsiones, seguida por la muerte.	Debilidad, alteración de la locomoción, diarrea, somnolencia, muerte.
Sodio	Gran apetito al suministrar sal, lamido ansioso de madera, suelo y sudor de otros animales, y consumo de agua mayor a lo normal.	Reducción del consumo de alimento y agua, problemas digestivos, diarrea y baja ganancia de peso.
Potasio	Signos no específicos: disminución del consumo y la eficiencia de utilización de alimento y agua; reducción del crecimiento, debilidad muscular, trastornos nerviosos, rigidez y delgadez excesiva.	Difícil alcanzar niveles tóxicos. Antagoniza con el magnesio, sodio y calcio.
Azufre	Pérdida de peso, debilidad, lagrimeo, reducción de la producción de leche y muerte; acumulación de ácido láctico en el rumen, la sangre y la orina.	Polioencefalomalacia, dolor abdominal, intoxicación por sulfuros, congestión pulmonar, deshidratación y enteritis severas.

Fuente: McDowell y Arthington (2005).

Cuadro 4. Signos clínicos de deficiencia y toxicidad causados por microminerales en el ganado bovino.

Elemento	Signos clínicos	
	Deficiencia	Toxicidad
Selenio	Distrofia muscular, baja tasa de reproducción, rigidez y muerte súbita.	Somnolencia, emaciación, pelo áspero, crecimiento alargado de pezuñas, cojera y parálisis.
Cobre	Anemia, diarrea profusa, crecimiento lento, decoloración del pelo, ataxia en recién nacidos, infertilidad temporal, fibrosis miocárdica y huesos frágiles.	Anemia, distrofia muscular, bajo crecimiento y deterioro reproductivo. Vómito, salivación, dolor abdominal, convulsiones, parálisis, colapso y muerte.
Zinc	Reducción en el consumo de alimento y tasa de crecimiento, piel seca, escamosa con grietas y difícil cicatrización, pérdida y aspereza de pelo, crecimiento testicular reducido.	Difícil de observar eventos.
Hierro	Difícil observar deficiencia, anemia, baja ganancia de peso, letargo, fatiga aún con poco movimiento.	Reducción del consumo de alimento y ganancia de peso, diarrea, hipotermia y acidosis metabólica.
Manganeso	Anormalidades óseas, fertilidad reducida, abortos y deformaciones fetales; patas deformadas en becerros.	Difícil observar eventos, tasa reproductiva baja.
Cobalto	Pérdida paulatina del apetito, emaciación, mucosas pálidas, crecimiento retardado, pelaje áspero, y reducción en producción de leche.	Disminución del apetito y peso, anemia.
Yodo	Bocio, ceguera en neonatos, mortinatos, anestro, retención placentaria, semen anormal.	Depresión del apetito, apatía, piel escamosa, tos seca y lagrimeo excesivo.

Fuente: McDowell y Arthington (2005).

La manifestación de signos clínicos en los animales, ya sea por privación o intoxicación mineral, es la fase final del desbalance. Es quizá en las etapas intermedias donde se suscitan las mayores repercusiones negativas sobre el mantenimiento de la salud, el crecimiento y la reproducción; siendo estas funciones las que definen el éxito de cualquier sistema de producción animal.

Es por esto que uno de los criterios más confiables para diagnosticar un desbalance de minerales, es el mejoramiento en las tres funciones previamente mencionadas, después de una complementación específica de minerales con ensayos bien diseñados y ejecutados (Suttle, 2010).

En las etapas intermedias entre el estado óptimo del animal y los niveles extremos de la deficiencia o de la intoxicación, es donde se expresan con menor definición los desbalances de minerales, y cuya apreciación visual es nula o confusa; obligando a proponer modelos para las fases que teóricamente anteceden al evidente desbalance y su posible secuencia. Además de crear una situación de constante búsqueda de procedimientos de laboratorio, para detectar cambios bioquímicos en los tejidos, fluidos, secreciones y excreciones, que sean indicativas o inherentes a dichas fases, para diagnosticar desórdenes aún en estadios subclínicos (Chesters y Arthur, 1988; Suttle, 2010).

5.6 Disponibilidad de los minerales para los rumiantes

La valoración de los alimentos y suplementos alimenticios como fuentes de minerales, depende no sólo del contenido mineral total o concentración del elemento, sino también de la cantidad de mineral que puede ser absorbida en el intestino y utilizada por las células y tejidos del animal. Esto depende, a su vez, de la especie y edad del animal, el consumo mineral en relación con las necesidades, la forma química en que es ingerido el mineral, de las cantidades y proporciones de otros componentes de la ración con los que interactúa metabólicamente, y de factores ambientales tales como facilidad e intensidad de radiación solar (Underwood y Suttle, 2003).

5.7 Suplementos minerales

Existen diversos tipos de suplementos minerales que incluyen los minerales esenciales, que pueden ser utilizados en la alimentación de los animales. Para el uso de los suplementos como fuentes minerales se debe considerar la relación con sus formas químicas y físicas, en relación con los diferentes

métodos que pueden usarse para administrarlos y asegurar un consumo apropiado (Underwood, 1981; McDowell *et al.*, 1984).

McDowell *et al.* (1984) y Huerta (1995) sugieren que un suplemento mineral bien formulado para los animales en pastoreo debe considerar los siguientes puntos:

- 1) Requerimiento de los animales
- 2) Contenido mineral de los forrajes
- 3) Disponibilidad biológica de las fuentes utilizadas
- 4) Concentración de los minerales en la mezcla
- 5) Aceptabilidad del suplemento por los animales
- 6) Consumo de la mezcla mineral
- 7) Formulación y mezclado de los suplementos

Las fuentes minerales más utilizadas para la formulación de los suplementos se muestran en los Cuadros 5 y 6.

Cuadro 5. Fuentes minerales utilizadas en la formulación de suplementos (macrominerales).

Fuente mineral	Macroelementos aportados (%)						
	Ca	P	Mg	Na	K	Cl	S
Carbonato de calcio	39.40	0.04	0.005	0.06	0.06		0.09
Roca fosfórica	29.20	13.30					
Fosfato dicálcico	22.00	18.50		0.05	0.07		1.14
Harina de hueso	30.60	12.60	0.06	0.39	0.18	0.01	0.20
Carbonato de magnesio	0.02	22.80	30.80				
Óxido de magnesio	3.07	3.00	56.00				
Cloruro de sodio				39.30		60.70	
Bicarbonato de potasio					38.70		

Fuente: NRC, 1985; McDowell *et al.*, 1984.

Cuadro 6. Fuentes minerales utilizadas en la formulación de suplementos (microminerales).

Fuente mineral	Microelementos aportados (%)						
	Fe	I	Co	Cu	Mn	Zn	Se
Sulfato ferroso	25.00						
Carbonato ferroso	39.00						
Yodato de calcio		63.50					
Yoduro de potasio		69.00					
Carbonato de cobalto			45.00				
Cloruro de cobalto	0.49		24.70				
Sulfato cúprico pentahidratado				25.00			
Cloruro cúprico				37.20			
Óxido de manganeso					76.00		
Sulfato de manganeso					27.00		
Óxido de zinc						73.00	
Carbonato de zinc						52.00	
Selenato de sodio							40.00
Selenito de sodio							45.60

Fuente: NRC, 1985; McDowell *et al.*, 1984.

5.8 Evaluación del estatus mineral

La razón principal para evaluar el estatus mineral de los rumiantes es por la influencia que tiene sobre su comportamiento. Por lo anterior, la evaluación se realiza para determinar la presencia o prevalencia de deficiencias (o toxicidades) de nutrientes en una población (Kincaid, 1999). Por otra parte, el diagnóstico mineral también se realiza para evaluar la eficacia de la suplementación dietética o para comparar suplementos disponibles (Kincaid, 1999).

La determinación del estatus mineral de los animales (deficiencias o excesos) puede llevarse a cabo mediante algunos procedimientos de diagnóstico habituales como son: la observación de signos clínicos, análisis patológicos, exámenes post mortem y obtención de muestras apropiadas de tejidos o fluidos para su análisis de minerales (Hoff *et al.*, 2001). El análisis del contenido mineral del complejo agua-suelo-plantas es importante, ya que la concentración mineral del suelo refleja en cierto modo el contenido mineral del forraje

(Olivares y Gutiérrez, 2003). Una técnica para conocer el perfil mineral de animales en pastoreo es utilizando la técnica de análisis de mapeo sistemático o mediante un reconocimiento de la región. Dicha técnica utiliza los análisis de tejidos de plantas y animales, se usa en muchos países, donde se han establecido los niveles minerales de grandes áreas (McDowell *et al.*, 1984).

El diagnóstico del estado mineral del ganado es fundamental para evaluar su estado nutricional, ya sea por inspección física de los animales, o a través de la comparación de sus perfiles metabólicos y tisulares con valores de referencia (Núñez y Bouda, 2007). Esto último con el objetivo de distinguir de manera más inmediata, la existencia y prevalencia de desbalances minerales en los animales, aún en aquellos sin manifestaciones claras o clínicas de tal situación, o valorar la evolución de un tratamiento dado; a diferencia de la respuesta positiva a la suplementación mineral específica, que aunque es la resolución más confiable de un diagnóstico presuntivo, requiere de mayor tiempo y tratamientos para confirmarlo (McDowell, 1985; Kincaid, 1999).

Los valores metabólicos de referencia, considerados para diferenciar un estado óptimo o anormal del ganado, se fundamentan sobre la representatividad de la población (sexo, edad, condición fisiológica) y ambiente entre otros factores; y provienen de la generación de intervalos de confianza tomados de animales que cumplen características específicas (Evans, 2009). Dichos valores se emplean para hacer comparaciones estadísticas con las concentraciones minerales del ganado sujeto a estudio; determinando su estado nutricional a través de la ubicación del valor encontrado dentro o fuera del intervalo de referencia (Álvarez, 2001; Kaneko *et al.*, 2008).

5.8.1 Perfil mineral en agua

El agua es considerada el nutriente más importante para el ganado, debido a dos funciones de vital relevancia en el organismo ya que es el medio en el cual se llevan a cabo las reacciones químicas del metabolismo, y el solvente en el que se transportan tanto los nutrientes dentro del cuerpo, como los desechos

hacia afuera del cuerpo y es el regulador de la temperatura corporal, debido a su alto calor específico, alto calor latente de evaporación y alta conductividad térmica (McDonald *et al.*, 2011). De hecho, el agua es considerada como el nutriente más importante para todas las formas de vida (Beede, 2012). De acuerdo a Olkowski (2009) las necesidades de agua de los rumiantes se proporcionan esencialmente de tres fuentes que son: 1) agua de bebida, 2) agua presente en alimentos, y 3) agua metabólica, que se forma por la oxidación de los nutrientes y los tejidos del cuerpo.

En algunas ocasiones los minerales que se encuentran en el agua pueden ser benéficos para los animales, ya que complementan el requerimiento de algunos de ellos; sin embargo, puede ser un medio de consumo de exceso de minerales que pueden provocar toxicidad en el ganado ya que el agua es un excelente solvente para los minerales y otros compuestos (NRC, 2005). De hecho, dos de los cinco criterios considerados por el NRC (2001) para determinar la calidad del agua son la presencia de compuestos tóxicos como los organofosfatos e hidrocarburos, así como la presencia de excesos de minerales (hierro y sodio) o compuestos (nitratos y sulfatos).

De acuerdo con el NRC (2001) y Beede (2009) los sulfatos (>1000 ppm), cloruro de sodio (>1000 ppm), nitratos (>45 ppm) y el hierro (>0.3 ppm), son los principales contaminantes del agua que causan una disminución en su consumo y disminución de la producción animal, remarcándose estos efectos adversos durante la época de mayor temperatura ambiental. Uno de los problemas con los niveles excesivos de minerales es que interfieren con la absorción normal de minerales y conducen a deficiencias. En el caso de los sulfatos y altos niveles de hierro (Wright, 2007; Beede, 2005) se unen y evitan la absorción de cobre y zinc (Smart *et al.*, 1986).

El NRC (2005) menciona que en alimentos de origen animal pueden encontrarse minerales potencialmente tóxicos, consumidos a través del agua y presentes en los tejidos que consumen los humanos. Por ello, la identificación de elementos que pueden ocasionar toxicidad es importante, y se logra con el

análisis del contenido mineral en el agua. Algunos minerales como cobre, zinc, cobalto, yodo y manganeso pueden ser tóxicos en concentraciones excesivas en el agua, pero raramente se encuentran a niveles tan altos para causar problemas (Landefeld y Bettinger, 2007). Los elementos más comunes en el agua son Na, Ca, P, Mg, S y Cl. Las altas cantidades de NaCl cambian el balance electrolítico y la presión intracelular en el cuerpo, produciendo una forma de deshidratación (Boyles, 2007).

Por otro lado, el exceso de flúor causa degeneración de los dientes como hipocalcificación, hipoplasia, moteado, desgaste excesivo y erosión del esmalte (Farries *et al.*, 1998). La concentración de S en agua de acuíferos profundos puede llegar a 600 mg L⁻¹, lo que supone 3 g de S kg⁻¹ en forma de sulfatos en la ración; esta cantidad puede inducir una deficiencia de cobre (Smart *et al.*, 1986). Sin embargo, la ingestión diaria de agua es altamente variable, al igual que su composición mineral, según su origen (Dahlborn *et al.*, 1998); también depende del tamaño de los animales, el estado físico, nivel de actividad y consumo de materia seca (MS); así como por la calidad del agua y temperatura ambiental a que están expuestos.

La calidad del agua es tan importante como la cantidad, dado que la calidad puede afectar el consumo y salud del animal (Kleinschmidt, 2009). El consumo diario de agua por ganado bovino es el 6% del peso vivo (PV), aunque puede aumentar hasta 12% durante condiciones de estrés por calor (Pond *et al.*, 2005).

En el Cuadro 7 se presentan los niveles máximos de algunas sustancias en el agua de bebida para el ganado.

En México se han realizado algunos estudios para determinar la concentración de minerales en explotaciones de ganado bovino, ovino y caprino (Cuadro 8). En la mayoría de los estudios las concentraciones de Cu, Fe y Zn están por debajo de las concentraciones típicas del agua (Shirley y Montesinos, 1978) y la mayoría no supera los niveles máximos tolerables en el agua para el ganado

(Puls, 1994), excepto en la concentración de Fe en el estudio realizado por Ramos (2009) en el norte de Veracruz y sur de Tamaulipas.

Cuadro 7. Nivel máximo (mg L⁻¹) de algunas sustancias en el agua de bebida para el ganado.

Substancia	Nivel máximo para el ganado
Aluminio	5.00
Arsénico	0.20
Bario	1.00
Bicarbonato	1000
Boro	5.00
Cadmio	0.05
Calcio	100
Cloro	100
Cromo	1.00
Cobalto	1.00
Cobre	1.00
Flúor	2.00
Fósforo	0.70
Hierro	0.30
Plomo	0.05
Magnesio	1000
Manganeso	0.50
Mercurio	0.01
Molibdeno	0.06
Níquel	1.00
Nitritos + Nitratos	100
Potasio	20
Selenio	0.05-0.10
Sodio	800
Sólidos Totales Disueltos	10000
Sulfatos de Magnesio + Sodio	5000
Vanadio	0.10
Zinc	25

Fuente: Bergsrud y Linn, 1990; Puls, 1994; Pfost y Fulhage, 2001.

Cuadro 8. Resumen de 20 estudios realizados para determinar la concentración (mg L⁻¹) mineral en el agua

Referencia	Minerales								Lugar
	Cu	Fe	Zn	Ca	Mg	Na	K	P	
Aguillón y Cruz, 2007 ^b	ND	ND	0.058	16.6	12.7	18.1	14.0	19.2	Michoacán
Castañeda, 2012 ^b	0.050	ND	ND	15.9	5.0	109.3	45.2	5.6	Suroeste de Veracruz
Lazalde, 2007 ^b	-	-	-	25.8	15.5	76.3	7.8	18.7	Granja Chapingo
Omaña, 2005 ^b	-	ND	ND	87.5	62.0	93.5	10.2	-	Huaquechula, Puebla
Ramos, 2009 ^b	-	0.48	0.02	44.2	4.9	11.2	2.3	38.9	Veracruz y Tamaulipas
Sánchez, 2005 ^b	-	-	-	17.0	9.3	35.9	4.6	1.7	Granja Chapingo, Edo. de Méx.
Martínez, 2006 ^b	-	-	0.02	8.0	8.4	7.9	3.1	4.9	Rodríguez Clara, Ver.
Gámez, 2009 ^b	0.002	0.04	-	0.1	0.0	0.1	0.01	-	Choapam, Oaxaca
Mena, 1996 ^b	0.010	0.01	0.01	33.0	29.4	90.1	15.0	1.5	Yucatán
Vieyra-Alberto <i>et al.</i> , 2013 ^b	-	0.22	1.35	11.1	6.6	19.6	3.8	-	Huasteca Potosina
Donato y Pérez, 2004 ^b	ND	0.03	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	Costa chica Gro. y Oax.
Arteaga, 2014 ^b	0.400		0.30	17.0	2.2	26.7	6.1	11.3	Jonotla, Puebla
Espitia, 2004 ^b	0.900	ND	ND	9.2	ND	49.7	6.7	0.02	Tenango, Morelos
Cruz y Domínguez, 2006 ^b	-	-	-	50.6	4.4	6.9	15.0	2.9	Cañada, Morelos
Librado, 2007 ^c	-	-	-	4.2	7.0	44.2	3.5	6.5	Llanos de San Juan, Puebla
Muñoz, 2005 ^c	-	-	-	28	18.8	524	6.9	29.9	Sn. José Teacalco, Tlaxcala
Romero y Huerta, 1990 ^c	-	-	-	19	8.8	30.9	3.6	-	Zacatecas
Juárez, 2008 [*]	-	-	-	21.0	11.5	30.0	8.6	109.0	Valle de México
Maure, 2007 [*]	-	-	-	18.9	8.3	27.6	30.0	8.9	Zihuatanejo, Guerrero
Torres, 2013 [*]	0.034	-	0.03	206	48.0	266	33.8	8.3	Jalisco
Shirley y Montesinos, 1978 ⁽¹⁾	0.014	0.044	0.05	57	14.3	55	4.3	0.08	
Puls, 1994 ⁽²⁾	1	0.3	25	1000	1000	800	20	0.7	

⁽¹⁾Concentración típica en el agua; ⁽²⁾Nivel máximo tolerable en el agua para el ganado; ^bBovinos; ^cCaprinos; ^{*}Ovinos; ND= no detectado.

Respecto al Ca, la mayoría de los estudios no superan las concentraciones típicas del agua, excepto los estudios realizados por Omaña (2005) y Torres (2013). En el caso del Mg y Na solamente seis estudios superan las concentraciones típicas en el agua. En el caso del K solamente 5 estudios están por debajo de las concentraciones típicas mientras las concentraciones de este mineral en los estudios de Castañeda (2012), Maure (2007) y Torres (2013) las concentraciones de K superan los niveles máximos tolerables para el ganado. Respecto a las concentraciones de P, solamente un estudio presenta niveles no detectables (ND) de P (Donato y Pérez, 2004) y un estudio (Espitia, 2004) reporta niveles menores a las concentraciones típicas de P en el agua, mientras el resto de los estudios superan los niveles máximos tolerables para el ganado.

5.8.2 Perfil mineral en suelo

Los elementos minerales en forrajes dependen de la interacción de un número de factores, incluyendo el suelo, las especies de plantas, la etapa de madurez, el rendimiento, manejo de los pastos y el clima (McDowell, 2005). Esto es importante ya que los elementos minerales antes mencionados en el suelo se refleja en la composición mineral del forraje que comen los animales (Whitehead, 2000). A la vez, estos elementos son adquiridos por quienes consumen los productos finales como la carne o la leche de dichos animales.

De acuerdo con Foth y Ellis (1997), el suelo se considera el sustrato en el que crecen las plantas forrajeras, por lo que la concentración de los minerales en los tejidos de las mismas depende de la fertilidad, pH del suelo, de la disponibilidad de los minerales en la solución del suelo y de la forma química en la que se encuentre el mineral en la parte física y solución del suelo. Según Huerta (1997) el pH del suelo es una de las propiedades que más efecto tiene sobre la absorción de minerales por las plantas, ya que cuando el pH es inadecuado para la absorción de un mineral, el contenido del mineral puede ser alto y aún así se presentan deficiencias de ese mineral en el forraje. Así, la absorción de

minerales por la planta es influenciada principalmente por el pH del suelo (McDonald *et al.*, 2011). Por ejemplo, a medida que el pH del suelo aumenta, la disponibilidad y la absorción de Fe, Mn, Cu, Zn y Co del forraje decrecen, mientras que el de Mo, S y K se incrementa (Figura 1).

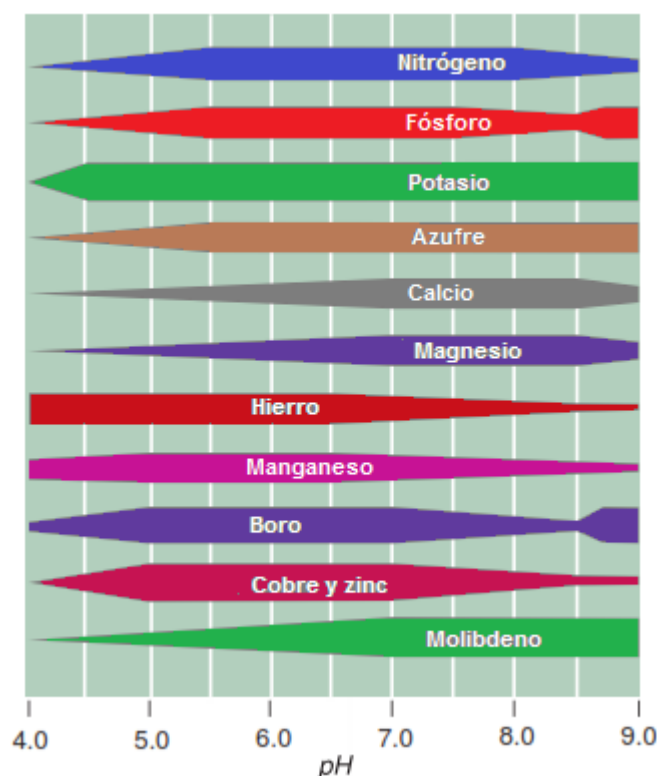


Figura 1. Efecto del pH en la disponibilidad de nutrimentos. La disponibilidad de nutrientes disminuye a medida que el ancho de la banda disminuye dependiendo del pH del suelo.

Fuente: Adaptado de Hoefft *et al.* (2000).

La baja disponibilidad de minerales esenciales en las plantas y la presencia de concentraciones excesivas de elementos minerales potencialmente tóxicos en el suelo, como Na, Cl, B, Mn, Al y Fe, frecuentemente limitan la productividad de los cultivos (White y Brown, 2010). Por otro lado, a través del consumo de forraje contaminado o impregnado de suelo, el ganado obtiene minerales, que en condiciones de privación o escasez de estos por largo periodo, lo obligará a la geofagia en un intento por satisfacer sus requerimientos (Smith *et al.*, 2000). Los animales en pastoreo principalmente son los que pueden consumir altos

niveles de Fe al consumir suelo (Osvalde, 2011). Según Underwood y Suttle (2003) esto puede darse cuando la intensidad del pastoreo es elevada o la disponibilidad de forraje es baja. Suttle *et al.* (1975) encontraron que la inclusión de suelo en un 10% de la dieta reduce en 50% la absorción del cobre en los animales.

De acuerdo a algunos estudios realizados en algunas regiones del trópico mexicano (Cuadro 9), podemos observar que en cinco de los siete estudios los niveles de Cu están por debajo de las concentraciones mínimas requeridas para el crecimiento de las plantas. Huerta (2003) menciona que la deficiencia de Cu es muy común en todo el país, posiblemente por la carencia natural de Cu o excesos de Mo, S y Fe en los suelos y forrajes.

Cuadro 9. Resumen de estudios realizados en el trópico mexicano para determinar los microminerales del suelo en explotaciones de ganado bovino y ovino.

Autor	Mineral (mg kg ⁻¹)					Lugar
	Cu	Fe	Zn	Mn	Se	
Arteaga, 2014 ^b	3.8	1715	6.6	35.0	--	Puebla
Torres, 2013 [*]	2.3	--	6.5	--	0.10	Jalisco
Castañeda, 2012 ^b	1.0	159	2.9	--	0.07	Veracruz
Gómez, 2009 ^b	12.5	74	4.4	112.5	--	Oaxaca
Ramos, 2009 ^b	1.3	6	0.7	15.8	0.10	Veracruz
Martínez, 2006 ^b	2.3	35	1.0	13.7	--	Veracruz
Mena, 1996 ^b	1.5	24	3.8	94.4	--	Yucatán
Nivel mínimo ¹	3.0	4.5	2.0	19.0	0.45	

¹Concentraciones sugeridas como mínimas para el crecimiento de las plantas (Bowen, 1966; McDowell, 1985; Whitehead, 2000); ^bBovinos; ^{*}Ovinos.

Las concentraciones de Fe están por arriba en todos los estudios realizados en México; según Weiss *et al.* (2010), el suelo puede ser la mayor fuente de Fe en la dieta en animales en pastoreo, lo cual puede predisponer a deficiencias de Cu en los animales que consuman los forrajes que crecen en estos suelos

(Whitehead, 2000). El Zn resultó deficiente solamente en dos estudios. El Se fue deficiente en todos los estudios donde se analizó este mineral.

Respecto a los macrominerales, en el Cuadro 10 se presenta un resumen de algunos estudios realizados en el trópico mexicano para la determinación de macrominerales del suelo donde las concentraciones de Ca, Mg, Na y K son mayores a las concentraciones sugeridas como mínimas para el crecimiento de las plantas (Bowen, 1966); mientras el P es deficiente en tres de los siete estudios realizados. Existe una amplia variación entre los estudios en cada mineral. En México se ha reportado una amplia variación del contenido mineral en los suelos de las regiones de clima tropical (Cabrera *et al.*, 2009) y clima templado (Domínguez y Huerta, 2008), así como en otras partes del mundo (Pereira *et al.*, 1997; Sharma *et al.*, 2003; Ndebele *et al.*, 2005) destacando niveles bajos de Cu y Zn y elevados de Fe, lo cual se refleja en la composición mineral del forraje que comen los animales (Whitehead, 2000).

Cuadro 10. Resumen de estudios realizados en el trópico mexicano para determinar los microminerales del suelo en explotaciones de ganado bovino y ovino.

Autor	Mineral (mg kg ⁻¹)					Lugar
	Ca	Mg	Na	K	P	
Arteaga, 2014 ^b	264	46	219	85	1.0	Puebla
Torres, 2013*	696	138	210	449	632.7	Jalisco
Castañeda, 2012 ^b	162	26	25	136	636.6	Veracruz
Gámez, 2009 ^b	1798	293	260	304	162.5	Oaxaca
Ramos, 2009 ^b	470	98	318	125	7.8	Veracruz
Martínez, 2006 ^b	273	75	28	34	44.2	Veracruz
Mena, 1996 ^b	6601	1297	819	673	15.8	Yucatán
Bowen, 1966 ¹	140	30	23	60	25	

¹Concentraciones sugeridas como mínimas para el crecimiento de las plantas; ^bBovinos; *Ovinos.

5.8.3 Perfil mineral en animales

La medición del contenido mineral en hígado, hueso o sangre es lo más indicado para efectuar el mejor diagnóstico de deficiencia o intoxicación (Kincaid, 1999). Además, la valoración del estado mineral de los animales requiere del conocimiento del contenido mineral de los otros componentes del sistema como son el agua y el suelo de donde los alimentos son obtenidos, dietas utilizadas, así como también cualquier signo clínico mostrado por el animal (NRC, 2007).

En el caso de las muestras de sangre, existen algunas limitaciones para su análisis. Una de ellas es que las células rojas de la sangre en el ganado tienen una vida útil de aproximadamente 160 días (Schlam, 1980), y las concentraciones de minerales en la sangre entera a menudo cambian lentamente. Además, se necesita un manejo cuidadoso de las muestras de sangre para evitar hemólisis, que puede provocar que las concentraciones séricas de Fe, Mn, K, Se y Zn aumenten. También, las infecciones y el estrés provocado en los animales, hacen que la concentración de Cu en plasma se incremente, principalmente el que está contenido en la ceruloplasmina (Suttle, 2002). Por ejemplo, durante el período de transición, aproximadamente 3 semanas antes del parto, hasta 3 semanas post-parto, la función inmune está debilitada y las vacas lecheras tienen una disminución de la capacidad para combatir enfermedades (Waldron, 2010). Los factores sugeridos como responsable de esta inmunosupresión incluyen al estrés oxidativo, a los ácidos grasos no esterificados, cetonas, balance energético negativo y el status del calcio (Sordillo, 2009; Waldron, 2010).

El principal mecanismo por el que los minerales traza impactan el estado inmune al aumentar su concentración en sangre, es funcionando como nutrientes antioxidantes que disminuyen el estrés oxidativo. Más específicamente, los minerales traza son una parte integral de la capacidad del animal para neutralizar a los radicales libres tales como el superóxido, peróxido

de hidrógeno, radical hidroxilo y radicales de ácidos grasos que son tóxicos para las células por su acumulación, causando daño oxidativo o la muerte celular (Linn *et al.*, 2011).

Según Hall (2005), uno de los cuidados que se deben tener en el manejo de la muestra es que el suero debe ser separado del coágulo sanguíneo dentro de las primeras dos horas después de la colección de la sangre, ya que si éste permanece en el coágulo por largos periodos de tiempo los niveles de K y Zn aumentan dando un falso resultado. A pesar de las limitaciones mencionadas, las mediciones en sangre se utilizan con frecuencia en la evaluación porque se correlacionan significativamente con el estado nutricional de algunos elementos traza (Mills, 1987), y porque la obtención de las muestras de sangre es menos invasiva y más simple que tomar muestras de hígado (Kincaid, 1999).

Las concentraciones de macro y microminerales en el suero representan mecanismos homeostáticos relacionados con el estado nutricional y la regulación hormonal en el animal (NRC, 1980). En el caso de la evaluación de minerales en sangre es importante recurrir al concepto de homeostasis. La homeostasis es la condición de relativa uniformidad que resulta de continuos ajustes en los seres vivos a los cambios en su entorno. Un ejemplo de un cambio drástico en el medio ambiente es la transición desde la preñez hasta la lactancia. Comparado con la cantidad de nutrientes transferido al feto a finales de la gestación, las cantidades relativas de Ca, P y Mg necesitadas para la síntesis de 15 kg de calostro son 3.3, 2.5 y 7.5 veces más altas, respectivamente (House y Bell, 1993). Cuando se enfrentan con el cambio de la ingesta y demandas de elementos minerales, el control homeostático se logra a través de una combinación de absorción intestinal variable, pérdida urinaria, pérdida endógena, depósito en tejido, e incluso la secreción en la leche (Kincaid, 2008; Figura 2).

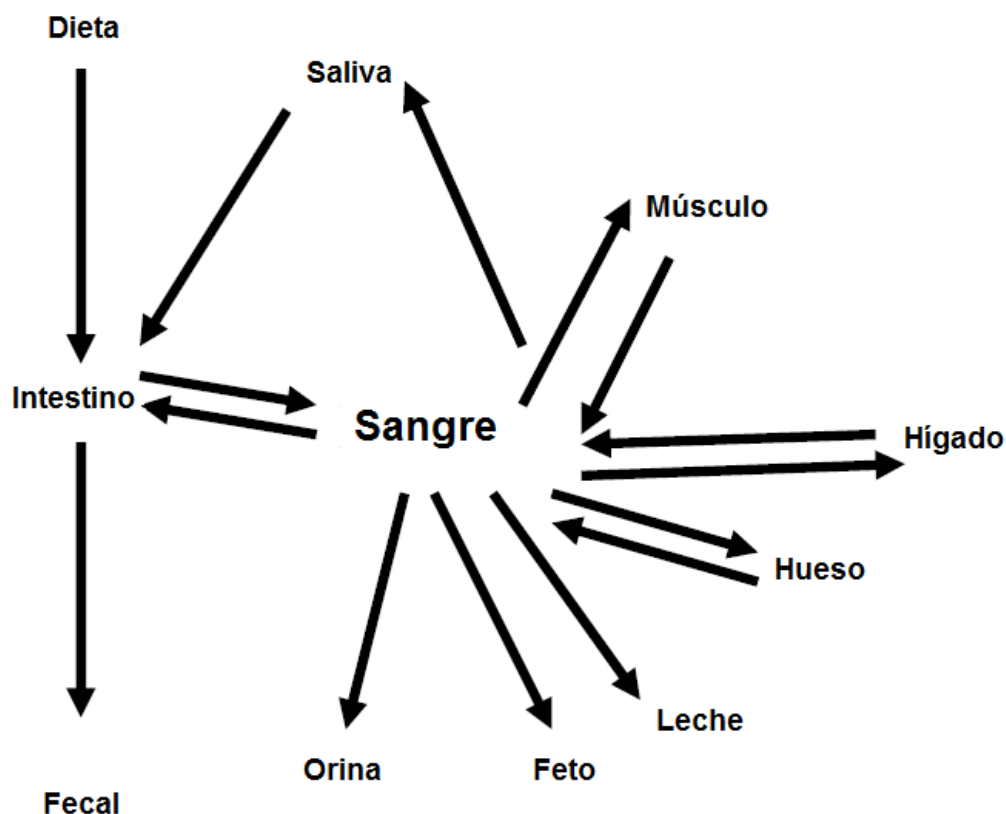


Figura 2. Dinámica de minerales en la sangre. Otros factores que afectan a los minerales en la sangre son el ayuno, las infecciones, el estrés oxidativo, los glucocorticoides, las hormonas, y las interacciones con otros nutrientes.

Fuente: Adaptado de Kincaid (2008).

En el Cuadro 11 se presenta un resumen de algunos estudios (25 promedios de 14 estudios) realizados para determinar la concentración de minerales en suero de vacas y crías en el trópico mexicano. Las concentraciones de Cu en el 96% de las medias muestran valores inferiores a los rangos adecuados en suero sanguíneo de este mineral; solamente en el suero sanguíneo de las crías reportadas por Ramos (2009) está dentro del rango adecuado de Cu para el ganado bovino. En el caso del Fe, solamente en lo reportado por Castañeda (2012) presenta niveles por abajo del rango adecuado de Fe en suero sanguíneo en vacas y sus crías; el 52% de los promedios están en el rango adecuado, y el 39% por arriba del rango adecuado. Respecto al Zn, de los promedios reportados, el 40% presentan niveles menores, el 36% están dentro

del rango adecuado y 20% por arriba del rango adecuado de Zn en suero sanguíneo.

Cuadro 11. Resumen de estudios de la concentración de minerales en suero de bovinos en el trópico mexicano.

Referencia	Tipo de animal	Mineral (mg L ⁻¹)								Relación		Lugar
		Cu	Fe	Zn	Ca	Mg	Na	K	P	Ca:P	Na:K	
Arteaga,	Vaca	0.57	1.5	0.64	86	39	5234	156	61	1.56	37.0	Jonotla,
2014	Cría	0.64	1.58	0.59	93	36	5466	177	90	1.09	33.0	Puebla
Muñoz <i>et al.</i> ,	Vaca	0.47	1.71	0.62	95	51	1650	167	49	1.94	9.9	Catazajá,
2013	Cría	0.55	2.41	0.67	98	47	1906	173	43	2.26	11.0	Chiapas
Castañeda,	Vaca	0.59	0.36	2.07	82	25	3387	221	124	0.72	16.4	Suroeste de
2012	Cría	0.43	0.42	2.29	86	22	3101	222	145	0.63	14.5	Veracruz
Ramos,	Vaca	0.72	3.60	0.71	82	26	3814	224	72	1.15	18.0	Norte de Ver. y
2009	Cría	0.85	4.70	0.71	99	25	4009	289	108	0.93	15.8	Sur de Tamps.
Gámez,	Vaca	0.33	1.40	0.39	145	29	2678	147	64	32.27	18.2	Choapam,
2009	Cría	0.40	1.88	0.34	162	30	2809	155	89	1.82	18.1	Oaxaca
Martínez,	Vaca	0.65	1.50	4.80	95	19	2575	1120	75	1.26	2.3	Juan Rodríguez
2006	Cría	0.65	1.70	4.90	95	19	2395	1116	84	1.14	2.2	Clara, Veracruz
Donato y	Vaca	0.60	2.30	0.90	107	33	3741	232	72	1.70	16.1	Cuajinicuilapa,
Pérez, 2004	Cría	0.70	2.20	1.20	116	32	3897	267	76	1.80	14.6	Guerrero
Chávez y	Vaca	0.51	4.33	1.01	102	33	3112	209	70	1.74	15.2	Tomatlán,
Casas, 2003	Cría	0.64	4.46	1.13	115	31	3264	239	100	1.17	14.0	Jalisco
Alvear,	Vaca	0.25	5.00	0.77	86	20	2690	240	60	1.43	11.2	Zirándaro,
2003	Cría	0.34	5.50	0.85	97	19	2810	280	85	1.14	10.0	Guerrero
Hernández y	Vaca	0.59	2.20	0.99	101	26	2751	173	71	1.42	1.6	San José
Alvarado, 1996	Cría	0.51	2.00	0.97	98	26	2813	169	56	1.75	16.6	Acateno, Pue.
Aladro,	Vaca	0.56	2.97	0.87	88	26	3167	233	110	0.80	16.7	Venustiano
1996	Cría	0.78	3.94	1.06	95	23	3404	252	145	0.66	14.8	Carranza, Pue.
Santiago y	Toretas	0.79	2.67	0.78	106	22	3071	227.7	49	2.31	13.5	Tepetzintla,
Gerardo, 1996												Veracruz
Pinto, 1995	Vaquillas	0.66	-	0.67	72	19	2674	166	59	1.23	16.1	Villafores, Chis.
Méndez, 1989	Vacas	0.58	-	1.84	-	33	-	-	53	-	-	Quintana Roo
Rango adecuado*		0.8-	1.3-	0.8-	80-	18-	3105-	160-	40-60 ^v	1.3:1-	14.4:1	
		1.15	2.5	1.4	110	35	3405	200	60-90 ^w	2.7:1	21.6:1	

*Rango adecuado de minerales en suero sanguíneo de ganado bovino (Puls, 1994); ^vAnimales adultos ^wAnimales jóvenes.

En relación al Ca, solamente el estudio de Pinto (1995) reporta concentraciones por abajo del rango adecuado de Ca en suero sanguíneo, mientras que de los promedios reportados el 79% muestra concentraciones adecuadas y el 16.6%

tiene concentraciones mayores al rango adecuado de Ca en suero sanguíneo. Para el caso del Mg, el 84% de las medias están en el rango adecuado de Mg en suero sanguíneo, solamente en los estudios de Arteaga (2014) y Muñoz (2013) se presentan niveles mayores al rango adecuado de. Respecto al Na, de los promedios reportados, el 46% muestran niveles menores, el 25% está dentro del rango adecuado y el 29% por arriba del rango adecuado de Na en suero sanguíneo.

En el caso del K, de los promedios reportados solamente el estudio de Gámez (2009), reporta concentraciones menores a los niveles adecuados, el 37.5% muestran niveles adecuados y el 62.5% presenta niveles mayores al rango adecuado de K en suero sanguíneo del ganado bovino.

Respecto al P, de los promedios reportados en las crías, ninguno muestra niveles menores al rango adecuado, el 18% está en el rango adecuado y el 82% está arriba del rango adecuado de P en suero sanguíneo; mientras en los animales adultos (vacas, novillos y vaquillas), de los promedios reportados, el 28.6% tiene niveles menores al rango adecuado, 57.2% está en el rango adecuado, mientras el 14.2% está por arriba de los rangos adecuados de P en suero sanguíneo para el ganado bovino.

5.9 Principales especies de zacates cultivados en climas tropical y templado

Desde su origen, el principal uso que se le ha dado a las gramíneas ha sido como fuente de forraje para la alimentación del ganado. Es precisamente su utilización como fuente de energía para el ganado doméstico y fauna silvestre lo que convierte a las gramíneas forrajeras en el grupo de plantas más importantes para el hombre.

De acuerdo a Ahloowalia (1984), las gramíneas forrajeras pueden agruparse como zacates de clima templado y en zacates de clima tropical, aunque algunas especies como *Festuca* y *Phalaris* pueden desarrollarse en la transición entre

las áreas subtropicales y templadas. Los zacates de clima templado más importantes son *Agropyron* spp (triguillos), *Bromus inermis* (bromo suave), *Dactylis glomerata* (zacate de huerta, zacate ovillo o dactilo), *Festuca arundinacea* (festuca alta), *Lolium multiflorum* (ballico italiano o anual), *Lolium perenne* (ballico inglés o perenne), *Poa pratensis* (zacate azul de Kentucky), y *Phalaris arundinacea* (alpiste).

Los zacates más importantes para las praderas tropicales son *Cynodon dactylon* (zacate Bermuda), *Panicum maximum* (zacate Guinea), *Paspalum notatum* (pasto Bahía o Remolino), *Pennisetum clandestinum* (zacate Kikuyu), *Pennisetum purpureum* (zacate elefante), *Sorghum halepense* (zacate Jhonson) y *Sorghum sudanense* (zacate Sudán). Enríquez et al. (1999) mencionan que otras especies importantes en México son *Hyparrhenia ruffa* (zacate jaragua), *Andropogon gallanus* (zacate llanero), *Brachiaria brizantha* (zacate insurgente), *B. decumbens* (zacate chontalpo), *B. mutica* (zacate pará), y *Digitaria decumbens* (zacate pangola). Estos mismos autores mencionan que los pastos utilizados en regiones tropicales pueden ser clasificados por el tipo de suelo en donde pueden ser utilizados. Así se tienen gramíneas para suelos inundables, para suelos no inundables y para suelos de baja fertilidad. Como ejemplo de gramíneas para suelos inundables se tienen: *Brachiaria humidicola*, *Brachiaria mutica*, *Brachiaria arrecta*, *Echinochloa polystachya*, *Hemarthria altissima*, entre otras. Para suelos no inundables destacan *Andropogon gayanus*, *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria dictyoneura*, *Cynodon dactylon*, *Cynodon nlemfuensis*, *Cynodon plectostachyus*, *Digitaria decumbens*, *Hyparrhenia rufa*, *Panicum maximum* y *Pennisetum purpureum*. Para suelos de baja fertilidad son los géneros *Brachiaria*, *Axonopus*, *Paspalum* e *Hyparrhenia*. Dada su plasticidad e importancia económica *Brachiaria*, *Panicum* y *Paspalum* son los géneros más difundidos.

En los últimos 25 años el género *Brachiaria* ha cobrado importancia debido a su impacto económico, llegando a ocupar 70 millones de hectáreas en Brasil, dicha importancia económica se debe en parte a su exitoso establecimiento en áreas

degradadas (Miles *et al.*, 1996; Holnam *et al.*, 2005). Esto último puede deberse a que este género tiene su origen en suelos de Sabana de África, teniendo además importancia ecológica (INEGI, 2000).

En México y Centroamérica, las Brachiarias de primera generación, liberadas a finales de los años 80s e inicios de los 90s, son las de mayor impacto; y recientemente las de segunda generación (híbridos de Brachiaria como el pasto Mulato), que en México representan más de 6.5% de las praderas permanentes, principalmente en sistemas de producción de doble propósito (Holnam *et al.*, 2005).

El género Panicum también está ampliamente distribuido en regiones tropicales (Costa y da Cruz, 1994), donde se destaca el pasto Guinea (*P. maximum*) (Chacón-Moreno y Sarmiento, 1995; Goncalves *et al.*, 2003) y algunos de sus genotipos mejorados como Mombaza, Tanzania, Tobiata y Coloniao (Heinemann *et al.*, 2005).

El Paspalum representa un género cuyas especies nativas son predominantes en la composición botánica de praderas del trópico húmedo en México, junto con el género Axonopus (Enríquez *et al.*, 1999). *Paspalum notatum* es una de las especies de mayor importancia económica en la ganadería por su alto valor nutritivo, producto de su elevada proporción hoja/tallo, así como también por su capacidad para tolerar bajas temperaturas gracias a una selección que ha buscado mejorar su adaptación a este tipo de estrés (Gates *et al.*, 2001); además de que este pasto permite una adecuada producción animal principalmente en la época de Nortes (octubre a febrero) en el Sureste de México (Juárez *et al.*, 2004). Sin embargo, en los pastos tropicales, siempre ha existido el problema de su estacionalidad productiva y reducida calidad, por lo que resulta necesaria la selección de nuevas especies mediante criterios que garanticen maximizar las ganancias sin comprometer la producción de materia seca y el contenido de proteína.

5.9.1 Factores que afectan la productividad y el valor nutritivo de los forrajes

La productividad de los forrajes se define como la tasa de conversión de recursos a biomasa por unidad de área por unidad de tiempo (Waide *et al.*, 1999). El valor nutritivo se define como la respuesta animal pronosticada, basada en la composición química, digestibilidad y naturaleza de los productos digeridos, estimada por análisis químicos *in vitro* o *in vivo* (Allen *et al.*, 2011), y generalmente se utiliza la información de la composición nutricional del alimento, siendo el contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y la digestibilidad de la materia seca los análisis que más a menudo se realizan para su estimación (Améndola, 2009).

Factores relacionados con el ambiente

Luz y temperatura

Entre las variaciones climáticas, la luz y la temperatura son las más importantes, seguidas por el suministro de agua. Estos factores influyen en la tasa de crecimiento, ya que determinan la tasa de producción, elongación de las hojas, aparición y muerte de tallos y estolones, crecimiento radical, mediante las cuales los cultivos interceptan la radiación solar y generan biomasa, aunado a un estado de confort cuando se encuentra en un rango óptimo de temperatura (Duru y Ducroq, 2000).

La producción de biomasa se da mediante la transformación de la radiación en energía química (NADPH y ATP), que se utiliza para reducir el dióxido de carbono a sacarosa en el proceso enzimático del ciclo de Calvin (Salsbury y Ross, 1992). Este proceso ocurre en cada ciclo de crecimiento en una pradera, siempre regulado por las condiciones atmosféricas, originando cambios en la magnitud de la tasa de crecimiento según la cantidad de irradiación solar que incide en la parcela y la temperatura ambiental a la cual crecen las plantas (McKenzie *et al.*, 1999). La fotosíntesis es fuertemente influenciada por la

humedad disponible, el nivel de fertilidad y propiedades físicas del suelo en la pradera (Matthew *et al.*, 2001; Moliterno, 2002).

La temperatura ambiental tiene una función importante debido a que regula la velocidad con que ocurren las reacciones enzimáticas del ciclo de Calvin, siempre que no afecte la integridad de la membrana celular (Simpson y Vulnevor, 1987). La máxima actividad enzimática ocurre en la zona térmica correspondiente a la temperatura óptima.

En gramíneas y leguminosas templadas, las temperaturas elevadas causan que la enzima de la reacción de carboxilación tenga mayor afinidad por el oxígeno, originándose así el proceso de fotorrespiración, reduciéndose la tasa de fotosíntesis (Salisbury y Ross, 1992) y consecuentemente la tasa de crecimiento de la pradera (Durand *et al.*, 1999). Lo anterior es debido a que el peso seco acumulado por día es en realidad la cantidad de fibra formada a partir de sacarosa y otras hexosas formadas en el ciclo de Calvin, razón por la cual se señala que el crecimiento de las gramíneas forrajeras es sensible a la temperatura (Buxton, 1994).

Disponibilidad de agua

La disponibilidad de agua es otro factor que tiene una función importante en la producción de forraje a través del año y puede ser una limitante del rendimiento (Jensen *et al.*, 2003). La disponibilidad de agua en las raíces de un cultivo depende del balance entre la precipitación y la evaporación, además de las características físicas del suelo, resultado de las características microclimáticas del medio en el que se establece (Juárez, 1997). La tasa de evaporación está en función de la temperatura ambiental, por lo que su interacción con la cantidad y distribución durante el año, determinan los cambios de humedad del suelo afectándose el crecimiento de las plantas (Velasco *et al.*, 2005).

La interacción de la cantidad y la distribución de la precipitación con la fluctuación de la temperatura en el tiempo es un factor que afecta el crecimiento

de los pastos, cuando las plantas son afectadas por el estrés hídrico, se puede provocar la inhibición de la fotosíntesis y la suspensión del crecimiento de los tallos (Enríquez *et al.*, 2003). En respuesta a condiciones de estrés hídrico, los pastos pueden presentar cambios morfológicos y fisiológicos para contrarrestar los efectos negativos (Passioura, 1982), esto lo hacen con mayor profundidad de raíces, enrollamiento y movimientos parahelitrópicos de las hojas para reducir la incidencia de radiación solar, caída de hojas, disminución de producción y expansión de hojas, así como el cierre de estomas (Ludlow, 1980).

En general, la elongación celular es más afectada por el déficit hídrico que la división celular, esto se traduce en la reducción de la tasa de crecimiento foliar que determina menor tamaño de hojas en cultivos con déficit hídrico en comparación con los cultivos con condiciones hídricas no limitantes. En condiciones de deficiencia hídrica hay una reducción de la tasa de aparición de los tallos, número de hojas vivas por tallo e incremento paralelo de los procesos de senescencia de hojas y macollos (Turner y Begg, 1978).

Estrés por sequía y calor

El estrés por sequía y calor causan una disminución de la calidad de las plantas que se ha asociado con una reducción en el crecimiento de las raíces, el potencial hídrico foliar, la estabilidad de la membrana celular, la tasa fotosintética, la eficiencia fotoquímica, y la acumulación de carbohidratos (Huang y Gao, 1999; Jiang y Huang, 2000). El estrés por sequía y calor simultáneos son más perjudiciales que cualquiera de ellos por sí solo para varias especies de plantas. En algunas especies, los daños por sequía o calor inducen un estrés oxidativo, que resulta de la producción y la acumulación de especies tóxicas de oxígeno, tales como los radicales superóxido (O_2^-), peróxido de hidrógeno (H_2O_2), y los radicales hidroxilo ($OH\cdot$) (Foyer *et al.*, 1994; Inze y Van Montagu, 1995).

Las especies activas de oxígeno producidas durante el estrés pueden dañar muchos componentes celulares, incluyendo los lípidos, proteínas, carbohidratos

y ácidos nucleicos (Monk *et al.*, 1989). El estrés oxidativo puede conducir a la inhibición de los procesos de fotosíntesis y respiración y, por lo tanto, el crecimiento de la planta. Las plantas han evolucionado los sistemas enzimáticos y no enzimáticos para secuestrar especies de oxígeno activo. En los sistemas enzimáticos, por ejemplo, la superóxido dismutasa (SOD) cataliza la dismutación de O_2^- a H_2O_2 y O_2 . La catalasa (CAT) y ascorbato peroxidasa (AP) pueden descomponer el H_2O_2 . La glutatión reductasa (GR) también puede remover el H_2O_2 vía el ciclo de glutatión ascorbato para mantener un alto nivel de ascorbato reducido dentro de los cloroplastos. Sin embargo, la función de los sistemas enzimáticos secuestradores puede ser interrumpida por el estrés por sequía o calor, lo cual puede resultar en un aumento de la peroxidación lipídica y consecuentemente en un daño de la membrana (Jagtap y Bhargava, 1995; Dat *et al.*, 1998).

Por otro lado, la composición química de los forrajes varía con la edad fisiológica, tiempo de pastoreo o de cosecha, variedad, especie, grado de contaminación y la fracción botánica (Adesogan *et al.*, 2000). Mientras que la época del año es el principal factor que afecta la calidad nutritiva del forraje, sobre todo en la temporada de lluvias, debido a la alta producción de forraje y, en consecuencia, un aumento en el contenido de pared celular, disminución del contenido de PC y baja digestibilidad de los compuestos de la pared celular (Jarillo-Rodríguez *et al.*, 2011).

5.9.2 Rendimiento de forraje

Según Birchan y Hogson (1983), la producción de forraje es el resultado del balance entre crecimiento y senescencia de las hojas. La planeación del pastoreo ayuda a eficientizar la cosecha de hoja antes de que entre en etapa avanzada de senescencia (Lemaire y Agnurdéi, 2000).

Entre algunos de los factores que influyen en el rendimiento del forraje se encuentra la morfogénesis de la especie forrajera, dicho término abarca los cambios estructurales que se producen a través del crecimiento y el desarrollo

de un organismo y puede ser definido a partir de procesos de formación, expansión y muerte de órganos (Chapman y Lemaire, 1993).

La producción de materia seca depende de la presencia de hojas verdes y del proceso fotosintético, este proceso a su vez depende significativamente de la radiación solar (intensidad luminosa), la concentración de CO₂, la temperatura y el contenido de humedad (Wild, 1992); también depende de la especie, tipo de suelo, clima, disponibilidad de agua, tipo y cantidad de fertilizante (Partida *et al.*, 2013) manejo (edad de rebrote, riego), variabilidad y características de los suelos (Lorenzo *et al.*, 2012).

El crecimiento vegetativo de una pradera depende de tres características principales que son: la aparición, la elongación y vida media de la hoja, y su combinación determina a su vez tres características estructurales de la pradera: tamaño de hoja, densidad de tallos y número de hojas vivas por tallo (Lemaire, 2001). Asimismo, la combinación de estas características determina el índice de área foliar de la pradera, que es el factor principal para la captación de luz, y por lo tanto de la dinámica de rebrote de la misma (Dale, 1983).

La tasa de aparición y elongación de la hoja y su vida media son variables que determinan los cambios de estructura que experimentan los macollos en el transcurso de su desarrollo (Davies, 1988). La tasa de aparición de hojas es el intervalo entre la aparición de una hoja y la siguiente en un macollo y es expresado en días calor. Sin embargo, debido a la estrecha relación con la temperatura, puede ser calculado como suma térmica (producto del intervalo en días, por la temperatura media diaria del intervalo). En este caso se denomina filocrono y su unidad es en grados día (Clerget *et al.*, 2007).

5.9.3 Métodos para determinar el rendimiento de forraje

En cultivos de forraje donde se realiza el pastoreo de animales, se hace necesario obtener una estimación del rendimiento estacional y anual de materia seca para calcular la superficie a pastar, la tasa crecimiento, utilización y de un

sistema de pastoreo. El método más utilizado es el corte directo. Las técnicas directas se consideran los métodos más precisos, se basan en el corte y remoción de forraje de un área de la muestra y este método de corte permite comparar la cantidad de materia seca real con algún otro método indirecto; las técnicas indirectas que permiten estimar el rendimiento de materia seca, requieren tomar como referencia una cierta cantidad de cortes y mediciones de algunas muestras para ajustar los resultados (Mannetje y Jones, 2000). Por otro lado, algunos investigadores consideran que para obtener información inmediata sin provocar deterioro de la pradera pueden utilizarse métodos indirectos, entre los que destacan la altura de la regla y el uso del plato calibrado (Hodgson, 1990).

En el manejo de praderas, conocer la cantidad de forraje presente antes del corte o del pastoreo, ayuda a determinar la asignación del área a pastorear o definir la carga óptima, a fin de obtener el máximo aprovechamiento del forraje. Los métodos indirectos y no destructivos ayudan a hacer más eficiente el muestreo por corte directo y permite obtener una estimación rápida de la cantidad de biomasa presente y residual de la pradera. Los métodos se basan en mediciones de altura, peso y densidad de plantas, pero requieren de una calibración por corte directo. Estos generan ecuaciones de regresión o modelos de predicción que permiten correlacionar el muestreo con el forraje de la pradera (Castillo *et al.*, 2009). La precisión de los datos depende de la técnica de muestreo, la habilidad y experiencia para toma la muestra; con el objetivo de reducir el error de muestreo y obtener una correlación alta entre la biomasa medida en varios puntos de la pradera (Campos *et al.*, 2004; Fernández, 2004).

5.10 Generalidades de la producción y composición de la leche bovina

5.10.1 Producción mundial de leche de ganado bovino

La producción mundial de leche de vaca se concentra en pocos bloques de naciones, como son la Unión Europea (UE), Estados Unidos de América (EUA), India, China, Brasil, Rusia y Nueva Zelanda (Figura 3).

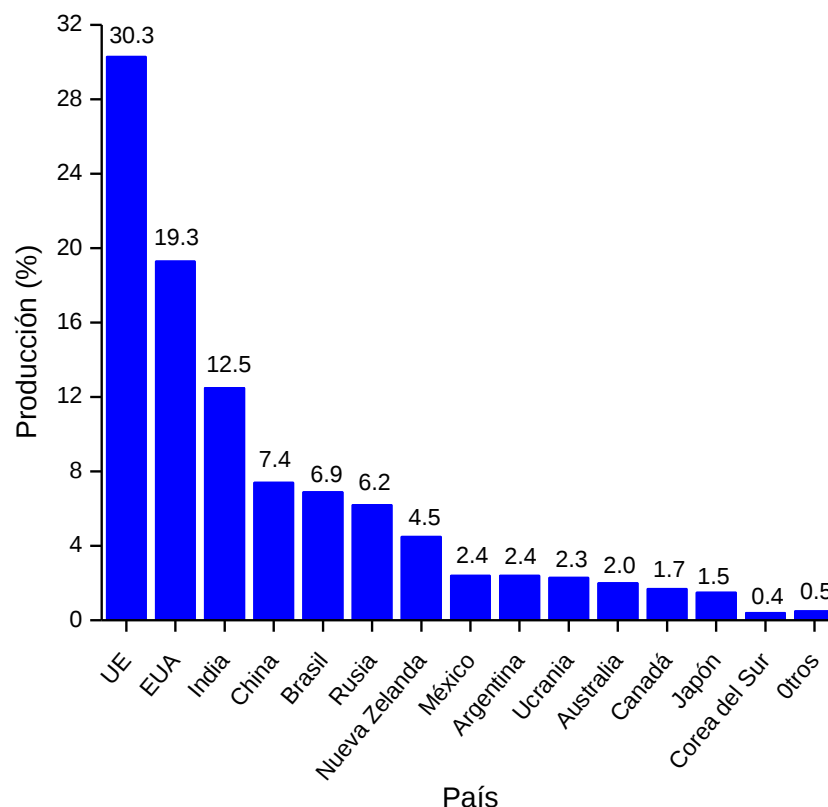


Figura 3. Participación porcentual de los principales países productores de leche bovina en el mundo.

Fuente: USDA (2014).

Independientemente de los niveles de producción, entre los primeros lugares a nivel mundial se encuentran naciones cuya producción, por importante que sea, es deficitaria para cubrir su demanda interna, siendo el caso de China y México. Otros países, cuya producción sobrepasa sus necesidades se ubican como importantes exportadores, como el caso de la UE, EUA y Nueva Zelanda (USDA, 2014).

5.10.2 Producción nacional de leche de ganado bovino

Se conoce que cerca de 50% de la producción de leche se obtiene de vacas lecheras especializadas, el 41% de ganado de doble propósito y el resto en lechería familiar o de subsistencia (Research and Market, 2011).

En México, la leche de bovino se produce en cuatro sistemas de producción en las distintas regiones del país: especializado, semiespecializado, lechería familiar y doble propósito (Blanco, 2010). La mayoría de la leche producida en México proviene de los sistemas especializados y de lechería familiar, localizados primordialmente en las regiones templada, árida y semiárida del país (Figura 4), utilizando principalmente estabulación o semiestabulación con ganado de la raza Holstein.

El sistema de doble propósito se practica en las regiones tropicales de México y utiliza ganado producto de las cruces entre distintas razas cebuínas con Suizo Pardo, principalmente en pastoreo de praderas tropicales (Blanco, 2010). La producción nacional se concentra en los estados del centro-norte del país, destacando Jalisco, Coahuila, Durango, Chihuahua y Guanajuato. Mientras en el sur del país los estados de Veracruz y Chiapas se ubican en el sexto y décimo lugar, respectivamente.

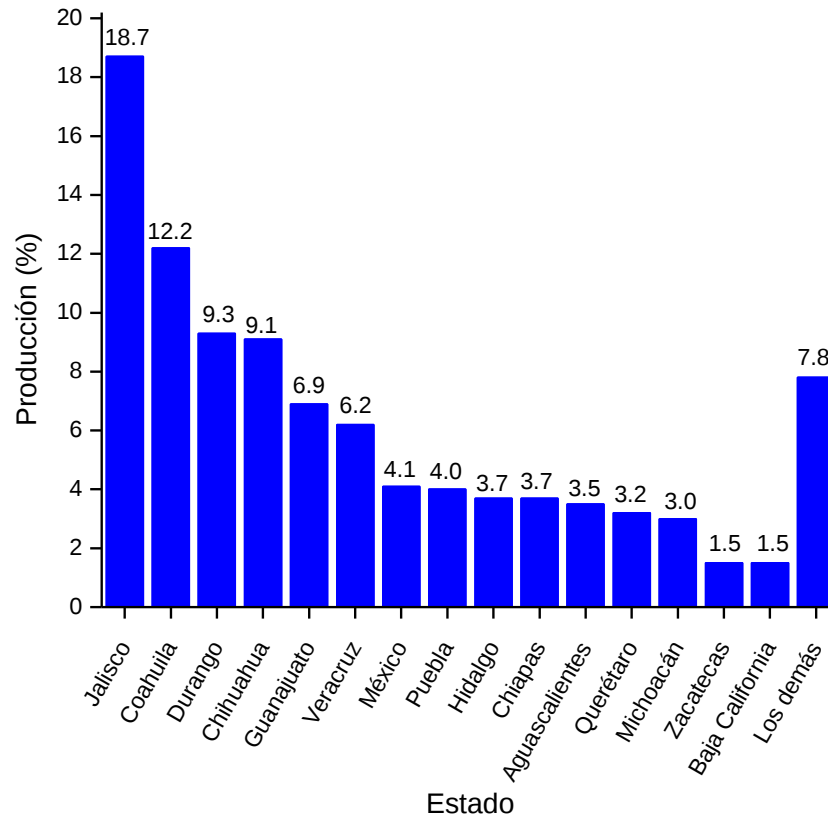


Figura 4. Participación porcentual por entidad federativa de la producción de leche bovina en México.

Fuente: SIAP (2014).

5.10.3 Definición de la leche de acuerdo a su uso

De acuerdo a Thompson *et al.* (2009), la leche es un fluido complejo que contiene diversos tipos de moléculas; sus principales constituyentes son agua, lípidos, azúcares y proteínas, en conjunto con otros elementos traza como minerales, vitaminas, hormonas y enzimas. Wattiaux (2011) define a la leche como el producto normal de la secreción de la glándula mamaria, de composición compleja, de color blanquecino y opaco, con un pH cercano a la neutralidad, de sabor dulce y libre de calostro. De acuerdo al uso final que se le dé, hay varias definiciones de leche y existen definiciones desde el punto de vista dietético, químico, físico, biológico, científico y legal:

Dietético: la leche es un alimento completo ya que contiene aminoácidos esenciales (Walstra *et al.*, 2006), es fuente de calcio, fósforo, vitaminas liposolubles e hidrosolubles y proporciona un aporte importante de lípidos y lactosa, que en conjunto constituyen una importante fuente energética para quien la consume (Agudelo y Bedoya, 2005).

Químico: la leche es un fluido complejo formado por agua y sólidos totales que están constituidos por miles de moléculas diversas (Neville, 1995).

Físico: la leche es una emulsión combinada con una fase coloidal en dispersión en la que la fase continua es una solución (Sherbon, 1999).

Biológico: la leche es el producto de la secreción de las glándulas de las hembras mamíferas, cuya función natural es crucial para la sobrevivencia y alimentación de los recién nacidos (Keenan y Patton, 1995).

Científico: la leche es la secreción de la glándula mamaria de los mamíferos que tiene un pH entre 6.5 y 6.7 (Fox, 2002); es una emulsión de grasas en agua, estabilizada por una dispersión coloidal de proteínas en una solución de sales, vitaminas, péptidos, lactosa, oligosacáridos, caseína y otras proteínas (Sherbon, 1999). La leche también contiene enzimas, anticuerpos, hormonas, pigmentos (*e.g.* carotenos, xantofilas, riboflavina), células (*e.g.* epiteliales, leucocitos, bacterias y levaduras), CO₂, O₂ y nitrógeno (Fox, 2002).

Legal: la leche es un producto destinado para consumo humano, proveniente de la secreción natural de las glándulas mamarias de vacas sanas (LICONSA, 2007; SAGARPA, 2009), excluyendo el producto obtenido 15 días antes y 5 días después del parto, sin haber sufrido ningún proceso industrial (NOM-024-ZOO-1995). No debe contener sustancias extrañas a su composición natural, tales como bactericidas, bacteriostáticos, preservativos químicos o biológicos, antibióticos o sustancias tóxicas (LICONSA, 2007).

5.10.4 Componentes de la leche

La leche entera (Figura 5) está constituida por alrededor de 88% de agua y contiene en promedio 12% de sólidos totales (Jenkins y McGuire, 2006).

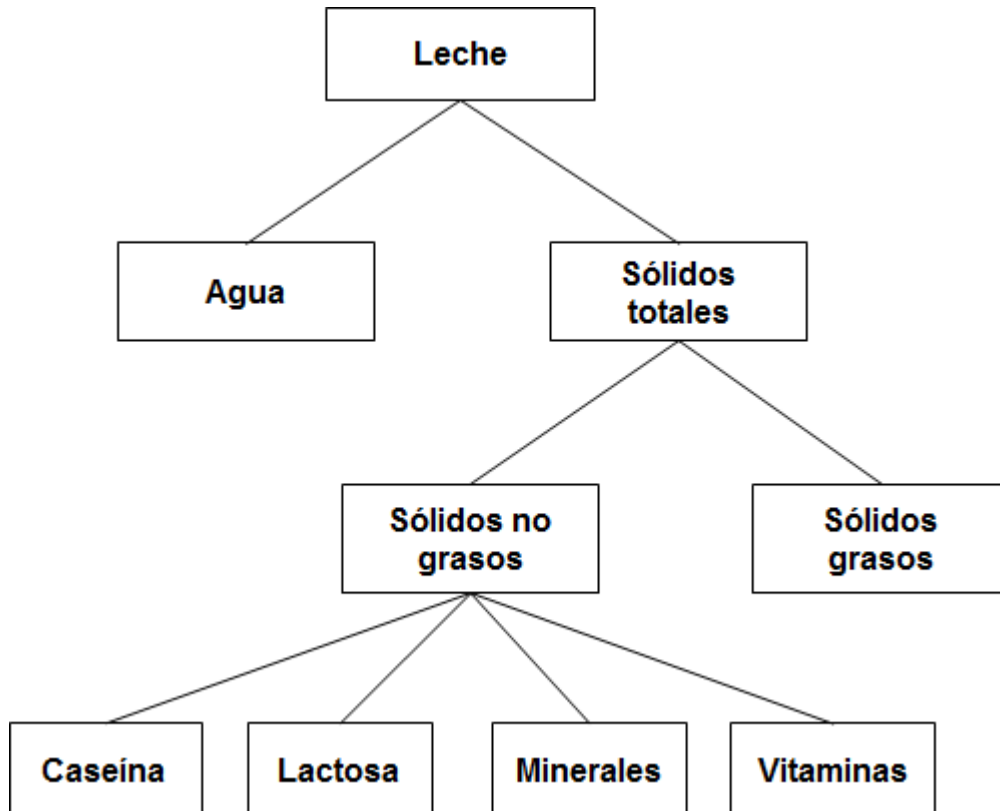


Figura 5. Principales componentes de la leche.

Fuente: Adaptado de Miller *et al.*, 2007.

En la leche se han identificado más de 100 diferentes componentes que resultan relevantes para la nutrición humana, tal es el caso de las vitaminas (D, A, B₁₂), los minerales (Ca, K y P), las proteínas (caseína) y otros factores benéficos para la salud (ácidos grasos omega 3 y 6) (Miller *et al.*, 2007).

Existen varios factores que influyen la composición de la leche (Cuadro 12), tales como la genética, la raza, la etapa de lactancia, el número de parto, la dieta (cantidades de granos o forrajes), el estado nutricional de la vaca y la

época de parto (Jenkins y McGuire, 2006; Tyler y Ensminger, 2006; Thompson *et al.*, 2009; Wattiaux, 2011). Sin embargo, dicha condición se neutraliza al juntar diferentes leches en el tanque de recibo o pipas de transporte, y durante el proceso de homogenización (Jensen *et al.*, 1991; Fox, 2002).

Cuadro 12. Composición nutricional de la leche entera.

Componente	Contenido
Agua, %	88.30
Proteína, %	3.20
Grasa, %	3.20
Cenizas, %	0.70
Carbohidratos, %	4.50
Energía, kcal/100 g	60.00
Colesterol, mg/100 g	10.00
Ácidos grasos, % total	
Saturados	64.90
Monoinsaturados	28.30
Poliinsaturados	6.80

Fuente: Jenkins y McGuire (2006).

Agua

La leche contiene entre 86 y 90% de agua, el resto está integrado por sólidos disueltos o sólidos totales (Wattiaux, 2011). El agua es el disolvente de los compuestos solubles como son las vitaminas hidrosolubles, la lactosa y los minerales (Roos, 2002). El agua no es un componente nutricional *per se*, pero determina muchas de las características fisicoquímicas de la leche y sus derivados, (e.g. viscosidad, propiedades termodinámicas, etc.); y es un factor clave en el crecimiento microbiano, palatabilidad, vida de anaquel de la leche y derivados y punto de congelación de la leche (Roos, 2002). Según Wattiaux (2011) la cantidad de agua en la leche es regulada por la lactosa dentro de las células secretoras de la glándula mamaria. El agua dentro de la ubre normalmente no es reabsorbida ya que los ductos secretores de leche son impermeables a la mayoría de los componentes, sólo se limitan a conducir y almacenar la leche dentro de la ubre (Tyler y Ensminger, 2006).

La adulteración de la leche por agregación de agua se puede detectar fácilmente por diversos métodos analíticos que se basan en el punto de congelamiento o punto de crioscopía de la leche o cambios en la refracción de la luz en el suero de la leche (Alais, 2003).

Sólidos totales

Los sólidos totales (ST) en la leche se refieren a todos los componentes de la leche con excepción del agua como son el contenido de grasa, lactosa, proteínas y minerales; se calcula como la diferencia que hay entre el porcentaje de agua con respecto al cien por ciento (Shearer *et al.*, 2003).

El valor económico y nutricional de la leche está directamente asociado a los ST; a mayor contenido de sólidos totales mayor rendimiento al procesar la leche para obtención de queso u otros derivados (Shearer *et al.*, 2003). De acuerdo a Gasque y Blanco (2001) existe una diferencia en la producción promedio de ST entre razas lecheras, indicando que la raza Jersey produce leche con 14.5% de ST, la raza Holstein con 11.93%, la raza Suiza con 13.41% y las vacas de razas Cebuínas leche con 13.5% de ST

Sólidos grasos

Desde un punto de vista práctico los lípidos tienen una importancia fundamental, ya que, confieren valor nutricional, textura y las propiedades organolépticas características de la leche y sus derivados (e.g. crema, quesos, mantequilla, etc.) (MacGibbon y Taylor, 2006). Los lípidos en la leche se presentan en glóbulos microscópicos en una fase de emulsión. Tienen el propósito fundamental de ser una fuente de energía para la cría recién nacida (MacGibbon y Taylor, 2006).

La grasa láctea representa el 48% de la energía de la leche entera, de la cual, el 62% corresponde a grasa saturada; el 30% a monoinsaturada; 4% polinsaturada y; 4% a otros tipos de ácidos grasos (Miller *et al.*, 2007).

El contenido de grasa y la composición de los ácidos grasos son muy variables por diversos factores (e.g. raza, dieta, etapa de lactancia, etc.) (Jenkins y McGuire, 2006; Thompson *et al.*, 2009; Wattiaux, 2011) y entre individuos (Huppertz y Kelly, 2009); esto mismo ocurre en otras especies como búfalos y ovejas (Thompson *et al.*, 2009).

En las últimas dos décadas, se han realizados esfuerzos para cambiar el patrón de ácidos grasos en la leche para incrementar la cantidad de aquellos que tienen beneficios en la salud como lo son los ácidos grasos insaturados (Jenkins y McGuire, 2006). Esto ha resultado en la obtención de grasas más suaves (altos contenidos en ácido oleico) que dan lugar a mantequillas untables incluso en refrigeración (Wood *et al.*, 1975).

Según MacGibbon y Taylor (2006) el contenido de grasa en leche puede variar de 3 a 6% pero el rango típico es de 3.5 a 4.7%; se encuentran en forma de glóbulos de grasa con un diámetro aproximado de 2 a 4 μm , cubiertos por una capa derivada de la membrana de la célula secretora (Jensen *et al.*, 1991).

En el Cuadro 13 se presentan las concentraciones de los principales lípidos de la leche de acuerdo a Jensen *et al.* (1991); el triacilglicerol se encuentra en mayor cantidad seguido de los fosfolípidos y esteroides. El colesterol representa la mayor proporción de esteroides con aproximadamente 10 a 20 mg/dL.

Cuadro 13. Clases principales de lípidos en la leche.

Lípidos	Cantidad (% p/p)
Triacilglicerol	98.30
Diacilglicerol	0.30
Monoacilglicerol	0.03
Ácidos grasos libres	0.10
Fosfolípidos	0.80
Esteroides	0.30
Carotenoides	Trazas
Vitaminas liposolubles	Trazas
Componentes de sabor	Trazas

Fuente: MacGibbon y Taylor (2006).

Por otro lado, Jensen *et al.* (1991) indicaron que la leche bovina tiene cantidades sustanciales de ácidos grasos de cadena corta ($C_{4:0}$ a $C_{10:0}$) y apenas el 2% será $C_{18:2}$ o *trans* $C_{18:1}$ o ácidos grasos de cadena larga. Bitman y Wood (1990) mencionan que la mayor parte de los lípidos corresponde a triacilglicéridos, con menores cantidades de esteroides y fosfolípidos asociados a la membrana y que estas proporciones varían según la etapa de lactancia.

Triacilglicéridos

Estos ácidos grasos constituyen el grupo más abundante de lípidos en los productos de origen animal. Se forman de la unión de tres cadenas de ácidos grasos por su grupo hidroxilo al glicerol, y se les conoce con el término arcaico de “grasas neutras” ya que no presentan polaridad (Nelson *et al.*, 2005).

Ácidos grasos

Los ácidos grasos esenciales son aquellos que el cuerpo no sintetiza a partir de la digestión y se deben consumir en la dieta para garantizar el buen funcionamiento del cuerpo (Simopoulos, 2000). Algunos ácidos grasos tienen funciones metabólicas específicas como los del grupo ω -3 y ω -6 que se caracterizan por su esencialidad y sus aportes benéficos para la salud humana (McGuire y McGuire, 2000).

El ácido linoleico (ω -6) está presente en leche en una forma que favorece su conversión a ácido araquidónico. El ácido ω -3 (linolénico), y productos como el ácido eicosapentaenoico (EPA) y ácido docosahexaenoico (DHA), se encuentran en pequeñas cantidades en la grasa de la leche, aunque no son despreciables si se considera su actividad como nutraceuticos (Cuadro 14).

Cuadro 14. Composición de ácidos grasos mayores en la leche de bovinos.

Ácido graso	Nombre común	Rango promedio (% de peso)
C4:0	Butírico	2-5
C6:0	Caproico	1-5
C8:0	Caprílico	1-3
C10:0	Cáprico	2-4
C12:0	Laúrico	2-5
C14:0	Mirístico	8-14
C15:0	Pentadecanoico	1-2
C16:0	Palmítico	22-35
C16:1	Palmitoleico	1-3
C17:0	Margárico	0.5-1.5
C18:0	Estearico	9-14
C18:1 ²	Oleico	20-30
C18:2	Linoleico	1-3
C18:3	Linolénico	0.5-2

Fuente: adaptado de Kaylegian y Lindsay (1995).

Fosfolípidos

Al igual que los triacilglicéridos, los fosfolípidos están constituidos por cadenas de ácidos grasos (dos cadenas) y un glicerol; el tercer carbono del glicerol está ocupado por un grupo fosfato que le confiere características biológicas especiales como la polaridad y la capacidad de formar membranas (Curtis y Barnes, 2001; Nelson y Cox, 2005). Los fosfolípidos presentes en la leche no contienen ácidos grasos de cadena corta; como en el caso de los triacilglicéridos (deMan, 1999); la mayoría son ácidos grasos poliinsaturados de cadena larga ya que se originan en la membrana de las células epiteliales mamarias (Jensen *et al.*, 1991).

El colesterol pertenece al grupo de los esteroides que son compuestos que contienen una base de cuatro anillos de carbono condensados (17 carbonos). Se encuentra en todos los tejidos de origen animal y es un componente básico para los ácidos biliares (Mayes y Botham, 2003), corticoesteroides, hormonas y vitamina D (deMan, 1999).

El colesterol representa cerca de 95% del total de los ésteres en la leche; por su asociación con el glóbulo de grasa su concentración está altamente correlacionada con el porcentaje de grasa (Palmquist, 2006).

Por otro lado, una ración demasiado rica en concentrados no estimula la rumia en la vaca y puede disminuir el porcentaje de grasa en la leche (2.0 a 2.5%) (Wattiaux, 2011) y reducir la proporción de ácidos grasos de cadena mediana (6 a 16 carbonos) y aumentar la proporción de ácidos grasos insaturados de 18 carbonos (Jenkins y McGuire, 2006). Esta condición, en la que se reduce la cantidad de grasa en la leche, se le conoce como depresión de grasa en leche inducida por grano. La depresión grasa en leche es un problema que ha sido una preocupación para los productores lácteos de gran escala por más de 150 años. Durante ese tiempo, se han postulado una serie de teorías en un intento por explicar la aparición de la depresión grasa en leche, sin embargo, la mayoría no ha explicado con claridad la causa exacta. Las investigaciones realizadas en la última década han incrementado sustancialmente la comprensión de los mecanismos que sustentan la depresión grasa en leche. En base a estos descubrimientos, Bauman y Griinari (2003) propusieron la teoría de la biohidrogenación en la depresión grasa en leche. Esta teoría propone que "en determinadas situaciones dietéticas se altera el medio ambiente del rumen y esto se traduce en cambios en la biohidrogenación de ácidos grasos insaturados que resultan en la formación de ácidos grasos únicos que inhiben directamente la síntesis de grasa de la leche en la glándula mamaria". Jenkins y McGuire (2006) mencionan que existen dos teorías: 1) una inadecuada producción de acetato y butirato en el rumen; 2) el propionato en el grano eleva las concentraciones de insulina, redireccionando los metabolitos del tejido mamario.

Sólidos no grasos

Los sólidos no grasos en la leche se refieren a los elementos como proteínas, lactosa, vitaminas y minerales, con excepción del contenido de agua y de lípidos.

Proteínas

La leche, aparte de ser un alimento, también apoya funciones fisiológicas; éstas son llevadas a cabo principalmente por las proteínas y péptidos, incluyendo inmunoglobulinas, enzimas, enzimas inhibidoras, factores de crecimiento, hormonas y agentes antibacteriales (Thompson *et al.*, 2009). La leche de vaca es reconocida por ser una fuente excelente de proteína de alta calidad, elevado valor biológico y de fácil digestión (Walstra *et al.*, 2006). Alrededor de 3.5% del peso de la leche es proteína y representa el 38% del total de sólidos no grasos (Miller *et al.*, 2007).

El contenido proteico de la leche es heterogéneo ya que resulta de una mezcla de varias proteínas, enzimas y trazas de nitrógeno no proteico (Miller *et al.*, 2007). El porcentaje de proteína varía según la raza de la vaca (Tyler y Ensminger, 2006) y está en relación directa con la cantidad de grasa en la leche (Wattiaux, 2011): cuanto mayor es la cantidad de grasa, mayor es la cantidad de proteína. La caseína es la proteína principal dentro de la leche (80%) (Miller *et al.*, 2007); precipita a un pH de 4.6, propiedad que es utilizada para la fabricación de diversos quesos y derivados (Walstra *et al.*, 2006). La caseína es una proteína “completa” ya que contiene aminoácidos esenciales que los humanos no son capaces de sintetizar (Fukagawa y Yu, 2009). Puede ser fraccionada electroforéticamente en cuatro fracciones principales, alfa caseína (α_{s1} - y α_{s2} -), beta caseína (β -), gamma caseína (γ -) y kappa caseína (κ -) con actividad biológica específica (Miller *et al.*, 2007). La α_{s1} -, α_{s2} -, β -, y κ -caseína, se producen en diferentes porcentajes. La κ -caseína se encuentra glicosilada con varias moléculas. Parte de la β -caseína se divide por las enzimas proteolíticas en γ -caseína y proteosa peptona.

Carbohidratos

La lactosa es el carbohidrato con mayor presencia en la leche y representa la fuente de energía más importante para el neonato sin resultar tan dulce como otros azúcares (e.g. sucrosa o fructosa) (Hurley, 2009). Representa alrededor

de 54% de los sólidos no grasos en la leche y cerca de 30% de la energía aportada en la leche entera (Miller *et al.*, 2007). La lactosa es originada por la unión de una molécula de D-galactosa y D-glucosa unidas por un enlace β 1-4 glicosídico (Curtis y Barnes, 2001) por acción de la α -lactoalbúmina (Calvo, 2003). En el intestino del neonato la lactosa se divide en sus dos moléculas constituyentes por medio de la acción de la enzima *lactasa* o β -galactosidasa (Hurley, 2009). El disacárido puede adoptar dos configuraciones, dependiendo de la forma en la que cierre el anillo de glucosa, 1) “ α ” lactosa y 2) “ β ” lactosa; la presencia de ambos tipos se encuentra en equilibrio (Calvo, 2003).

El contenido de lactosa no puede ser manipulado con cambios en la dieta, excepto con restricciones muy severas en la alimentación (Jenkins y McGuire, 2006). Por otro lado, según Revilla (1982) la proteína tiene más respuesta a las variaciones que la lactosa, pero mucho menor que la grasa. Los factores que pueden variar la concentración de lactosa en la leche son los relacionados con la salud de la ubre, por ejemplo, la mastitis.

Vitaminas

La leche bovina es una fuente importante de vitaminas en la dieta humana, sobretodo de riboflavina y cobalamina. Las concentraciones en leche de vitaminas como la A y E dependerán de las características de la dieta, la estación del año y del contenido de grasa de la leche (Fox, 2002). Las vitaminas no pueden ser sintetizadas totalmente por el hombre, pero son esenciales para el crecimiento, el mantenimiento y un metabolismo normal (Fox, 2002).

Las vitaminas liposolubles se asocian con la concentración de grasa en la leche mientras que las hidrosolubles o vitaminas del complejo B y la vitamina K son sintetizadas dentro del rumen por la flora bacteriana, por lo que su deficiencia es poco probable (Fox, 2002).

La leche es una fuente importante de vitamina A y D para niños y adultos; por ejemplo, la leche contribuye entre el 10 y 30% del consumo de vitamina A y

entre el 40 y 60% para el caso de la vitamina D, siendo la fuente más importante para la dieta de los estadounidenses (Morrissey y Hill, 2009).

La vitamina A es importante para la visión, la diferenciación celular, crecimiento y reproducción; es precursora de los carotenoides que juegan un papel importante en la pigmentación amarillenta de la leche y mantequilla. Su presencia, al igual que otros componentes, dependen de la raza, la estación del año y la dieta (Miller *et al.*, 2007).

La vitamina D, es también una vitamina liposoluble que juega un papel importante en la absorción de calcio y fósforo a nivel intestinal; su deficiencia reporta desmineralización de los huesos en jóvenes y adultos (Miller *et al.*, 2007).

La vitamina E tiene características antioxidantes para las membranas celulares y lipoproteínas, lo que probablemente se traduce en una vida de anaquel más larga de la leche y sus derivados (Miller *et al.*, 2007). La vitamina C es sintetizada en el hígado de las vacas y quizá en otros tejidos como el intestino o los riñones. Las vitaminas hidrosolubles no se afectan gravemente con los procesos de pasteurización, pero son foto lábiles (Jensen, 1995).

La tiamina o vitamina B₁ se puede encontrar libre (50 a 70%), fosforilada (18 a 45%) o unida a proteínas (5 a 17%) (Jensen, 1995). La vitamina B₁₂ o cobalamina es termoestable, las pérdidas por pasteurización o refrigeración son menores al 10% (Scott, 1989); se absorbe en el intestino delgado por digestión pancreática (Jensen, 1995).

Minerales

La leche y los productos lácteos son una fuente importante de minerales, sobretodo de calcio, fósforo, magnesio, potasio y algunos minerales traza como zinc (Miller *et al.*, 2007). En el Cuadro 15 se muestra la cantidad de minerales y ácido cítrico en la leche de diferentes especies (Santos, 2007).

El sodio se encuentra elevado en la etapa de calostro, pero los niveles decrecen con el establecimiento de la lactancia y vuelven a aumentar con el fin de la lactancia. Lo inverso sucede con el potasio y el cloro, ya que las concentraciones en el calostro son menores y luego aumentan. Las concentraciones de estos tres minerales en la leche son independientes del consumo de ellos en la dieta (Cashman, 2002).

Cuadro 15. Composición mineral y contenido de ácido cítrico en leche de distintas especies.

Componente, g/L	Vaca*	Cabra	Oveja	Cerda	Mujer
Potasio	1.4	1.6	1.5	1.0	0.5
Sodio	0.53	0.40	0.40	0.35	0.16
Calcio	1.12	1.3	2.3	2.1	0.3
Magnesio	0.11	0.15	-	0.20	0.05
Fósforo	0.89	1.0	1.6	1.5	0.15
Cloro	0.97	1.5	0.7	-	0.5
Azufre	0.30	0.20	-	-	0.15
Ácido cítrico	1.8	1.5	-	-	0.8

Fuente: *Cashman (2002); Santos (2007).

El contenido medio de calcio y fósforo en la leche de vaca es de 1120 y 890 mg L⁻¹, respectivamente. El calcio está más elevado en el calostro y al final de la lactancia, pero varía según el consumo en la dieta o de la estación.

El fósforo varía poco durante la lactancia, mientras que el magnesio llega a estar, incluso, al triple en el calostro para luego permanecer más o menos constante (110 mg L⁻¹) y no se afecta incluso cuando se remueve la grasa de la leche (Cashman, 2002).

Los cationes más comunes son: K⁺, Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ que se balancean con la presencia de aniones como el Cl⁻, citrato y carbonatos (Hurley, 2009).

En general, las concentraciones de macrominerales decrecen con el aumento del porcentaje de grasa tanto en la leche como en los productos lácteos (Cashman, 2002).

Los elementos traza (Cuadro 16) dentro de la leche están influenciados por factores como la etapa de lactancia, el estado nutricional del animal, el medio ambiente y la genética (Cashman, 2002).

Cuadro 16. Contenido de minerales traza en 100 g de leche entera.

Elementos traza	Contenido (µg)	Elementos traza	Contenido (µg)
Aluminio	46.0	Molibdeno	7.3
Boro	27.0	Níquel	2.7
Bromo	60.0	Plata	4.7
Cobalto	0.06	Rubidio	200.0
Cobre	13.0	Selenio (no selenífero)	4.0
Cromo	1.5	Selenio (selenífero)	>127.0
Estroncio	17.1	Silicio	143.0
Flúor	15.0	Vanadio	0.0092
Hierro	0.0492	Yodo	4.3
Manganeso	2.2	Zinc	0.03811

Fuente: Miller *et al.* (2007)

5.10.5 Variación en los componentes químicos de la leche

La producción de la leche de vaca puede tener diversas variaciones, debido a la influencia de factores ligados al animal, como factores genéticos, fisiológicos, sanitarios y ambientales como la alimentación, el ordeño, el clima y la época de parto (Casado y García, 1985).

Variación en la composición de la leche en relación con la raza

La raza de la vaca es un factor importante en cuanto la producción y composición de la leche. El rendimiento y la composición de la leche en una raza con respecto a otra pueden variar considerablemente.

En el Cuadro 17 se presenta la composición de la leche de las razas productoras más comunes; la grasa es el componente menos constante y la lactosa es el más estable. Las razas Jersey y Guernsey se consideran razas para producción de mantequilla por su alto contenido de grasa (Santos, 2007).

La raza que produce leche con el mayor contenido de grasa es la Jersey, en cuanto a la proporción de proteína total y tipo de proteína producida en la leche. Las razas Jersey y Guernsey presentan los mayores porcentajes de proteína total, grasa y lactosa, en comparación con vacas Holstein Friesian.

Cuadro 17. Variación en la composición de la leche en relación con la raza.

Raza	Agua (%)	Lactosa (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Cenizas (%)
Jersey	85.09	4.93	5.37	3.92	0.71
Guernsey	85.39	4.93	4.95	3.91	0.74
Pardo Suizo	86.59	5.04	4.01	3.61	0.73
Ayrshire	87.10	4.67	4.00	3.58	0.68
Shorthorn	87.19	4.99	3.94	3.32	0.70
Holstein	87.74	4.87	3.40	3.32	0.68

Fuente: Santos (2007).

A través de selección genética se incrementa el porcentaje de proteína en la leche, pero la selección individual de algún componente tiene consecuencias negativas sobre la producción de leche, por lo que se selecciona conjuntamente por proteína, grasa y producción de leche (De Peters y Ferguson, 1992; Requena *et al.*, 2007).

La composición química de la leche, principalmente en la fabricación de queso, está influenciada por las características genéticas de las vacas (Benavides, 2003). La detección del polimorfismo genético de las proteínas lácteas, principalmente la κ -caseína, ofrece nuevas explicaciones del comportamiento químico de la leche, puesto que las variantes genéticas tienen efectos directos sobre la composición y las propiedades tecnológicas de la leche (Puhan y Jakob, 1993; Caroli *et al.*, 2009).

Variación en la composición de la leche en relación con la estación del año

La producción de leche en regiones tropicales está directamente relacionada con la época del año; la producción baja drásticamente durante la época de secas y mejora considerablemente en la época de lluvias (Martínez y Lascano,

1998). La composición de la leche de ambas épocas de producción es muy diferente. Si se analiza el Cuadro 18, puede observarse que la riqueza de la leche en contenido de grasa y sólidos totales es mínima durante las lluvias (junio, julio y agosto), y máxima al final del ciclo de secas (febrero, marzo y abril) (Alais, 1984; Santos, 2007).

Cuadro 18. Influencia de la época del año en la composición de la leche.

Mes	Componente				
	Grasa (%)	Proteína (%)	Lactosa (%)	Cenizas (%)	Sólidos totales (%)
Enero	4.31	3.67	4.87	0.72	13.57
Febrero	4.22	3.62	4.89	0.72	13.45
Marzo	4.16	3.56	4.98	0.71	13.41
Abril	4.10	3.54	5.01	0.71	13.37
Mayo	4.10	3.53	5.04	0.71	13.37
Junio	3.96	3.45	5.02	0.70	13.13
Julio	3.95	3.46	5.02	0.70	13.12
Agosto	3.95	3.54	5.00	0.69	13.18
Septiembre	4.10	3.62	4.96	0.70	13.38
Octubre	4.24	3.66	4.92	0.71	13.53
Noviembre	4.27	3.69	4.88	0.72	13.55
Diciembre	4.30	3.65	4.92	0.72	13.59

Fuente: Santos (2007).

Variación en la composición de la leche en relación a la etapa de la lactancia y el número de partos

La producción de leche aumenta con la edad del animal; sin embargo, el contenido de proteína disminuye. El efecto del número de parto es mayor sobre la producción de leche que sobre su composición, así mismo, el máximo volumen de producción se alcanza entre el tercero y quinto partos (Casado y García, 1985). El contenido de caseína en la leche disminuye con el número de parto, aunque el contenido total de proteína cruda puede no cambiar debido al aumento de las proteínas del suero. Por lo general, se considera que el contenido de proteína total y de caseína es más alto para una vaca en su primera lactación (De Peters y Ferguson, 1992), mientras que la gestación

afecta la composición de la leche en forma indirecta por acelerar el fin de la lactancia (Covington, 1993).

Después del periodo calostrual, la secreción de la leche aumenta durante el primer mes; después se mantiene constante durante los dos meses siguientes, para disminuir progresivamente más tarde hasta el final del periodo de lactancia, que dura unos diez meses (Veisseyre, 1988).

Algunas vacas mantienen uniforme su producción durante la lactancia, lo cual es lo más importante desde el punto de vista económico (Santos, 2007). Durante la lactancia la concentración de grasa y proteína en la leche evolucionan en sentido inverso a la lactosa (Casado y García, 1985). Las concentraciones de grasa y proteína son máximas al inicio de la lactancia y mínimas durante el segundo y tercer mes de lactancia, para luego aumentar hasta el final de ésta.

Por otra parte, la curva de la lactosa sigue la misma tendencia que la curva de producción de leche, la cual aumenta en forma paulatina hasta el segundo mes de lactancia, luego se mantiene constante y disminuye progresivamente hasta el final de la lactancia (Alais, 1984; Lawrence, 1991; Latrille, 1993).

En relación con la variación de los componentes principales de la leche, hay un aumento del extracto seco de la leche debido al aumento de la grasa y de las materias nitrogenadas (Veisseyre, 1988).

Variación del contenido de sólidos de la leche por efecto de la alimentación

Una alimentación apropiada en el ganado es esencial para obtener la máxima producción de leche. Las dietas típicas formuladas para ganado de alta producción lechera contienen elevadas concentraciones de carbohidratos fácilmente fermentables, más que de grasas y a menudo dichas dietas provocan una condición denominada síndrome de baja materia grasa de la leche. Este síndrome deriva de una alteración en el proceso fermentativo a nivel

ruminal, con un cambio en el pH en el rumen, como consecuencia una depresión en la digestión de la fibra y por ende un cambio en los productos de fermentación ruminal, disminuyendo el sustrato disponible para la síntesis de grasa a nivel de la glándula mamaria (Requena *et al.*, 2007).

La alimentación es fundamental en el contenido graso de la leche. Dietas que consideran un alto suministro de concentrado implican que el contenido de grasa de la leche disminuye. Por el contrario, dietas ricas en forraje permiten obtener leche con un mayor contenido de grasa (Hazard, 1997).

Raciones con alto contenido de proteína cruda y con una adecuada cantidad de fibra (forrajes) han demostrado un incremento en la grasa láctea (Zimmerman *et al.*, 1991).

La calidad de la fibra (forraje) tiene influencia sobre la producción y el contenido de grasa de la leche. Recientes experiencias han demostrado que estos dos valores varían de manera inversa, según la naturaleza del pasto. La leche es más rica en grasa cuando las vacas han consumido forraje a base de dátilo (*Dactylis glomerata*) y alfalfa (*Medicago sativa*); un efecto contrario se observa con otros pastos como son el Rye grass (*Lolium Perenne*), la festuca (*Festuca arundinacea*) y el trébol blanco (*Trifolium repens*) (Alais, 1984).

Los cambios producidos de la cantidad de proteína de la leche mediante cambios en la alimentación son inferiores a los obtenidos en la grasa y generalmente fluctúan entre 0.1 y 0.3 unidades porcentuales. Esto se debe a que el proceso de síntesis proteica está relacionado con el código genético e implica que, si falta un aminoácido específico el proceso se detiene. Los dos aminoácidos más limitantes son lisina y metionina, seguidos por treonina, valina e isoleucina (Manterola, 2007). Debido a que el mayor aporte de aminoácidos proviene de la síntesis proteica microbiana en rumen, los esfuerzos deben orientarse a potenciar al máximo este proceso, y apoyarlo con fuentes proteicas sobrepasantes sólo cuando los niveles de producción lo ameriten o cuando la ración sea deficiente en ciertos aminoácidos esenciales. Esto aseguraría la

llegada de suficiente cantidad de aminoácidos a la glándula mamaria para una adecuada síntesis proteica (Manterola, 2007).

Por otra parte, hay que tener en cuenta que el rumiante utiliza diversos aminoácidos para sintetizar glucosa, fundamental para la síntesis de lactosa. En la medida en que el rumiante disponga de fuentes de glucosa, ya sea a partir del propionato o de almidones sobre pasantes, no utilizará aminoácidos para este fin y los derivará a síntesis proteica (Manterola, 2007).

5.11 Condición corporal y baja fertilidad en bovinos

En las últimas décadas, los sistemas de producción de leche que utilizan vacas que han sido seleccionadas para la producción de leche han sufrido una disminución en la fertilidad de las vacas. Lo anterior ha ocurrido en los países y regiones que operan diversos sistemas de producción; para los hatos que tienen un sistema de parición continua se encuentran principalmente el Reino Unido y América del Norte, mientras tanto, en hatos con pariciones estacionales, se encuentran principalmente Irlanda, Nueva Zelanda y Australia (Dillon *et al.*, 2006; MacDonald *et al.*, 2008).

La eficiencia reproductiva es de alta prioridad en todos los sistemas, pero mayormente en los sistemas de partos estacionales, ya que la oportunidad de una vaca para parir y quedar gestante es de tiempo limitado para asegurar una cría por vaca por año, en sincronía con el crecimiento del forraje (Dillon *et al.*, 2006).

En consecuencia, uno de los mayores desafíos de los especialistas en reproducción, nutricionistas y genetistas, es encontrar un entendimiento de la biología subyacente de la vaca lechera que contribuye a la baja fertilidad y desarrollar estrategias para mejorarla.

La fertilidad es una característica multifactorial y su disminución ha sido causada por una serie de factores genéticos, ambientales y de manejo, sus interacciones complejas hacen difícil determinar la causa exacta de esta

disminución. A pesar de esto, los investigadores han identificado las causas clave durante la vida productiva de la vaca lechera que impactan negativamente en la eficiencia reproductiva (Walsh *et al.*, 2011).

Después del parto, las vacas lecheras experimentan un aumento sustancial de las necesidades de energía para facilitar los dramáticos aumentos en la producción diaria de leche, que alcanza su máximo entre 4 y 8 semanas después del parto. Este requisito es satisfecho parcialmente por el aumento del consumo de alimento (debido a las limitaciones en el consumo y el apetito) y el resto es satisfecho por la movilización de reservas corporales resultando en que los animales entren en balance energético negativo (BEN) (Grummer, 2007). Las consecuencias del BEN severo son los mayores riesgos de enfermedades metabólicas, que se producen en gran parte dentro del primer mes de lactancia, la reducción de la función inmune y una reducción en la fertilidad posterior (Roche *et al.*, 2009).

Lamond (1970) sugirió la existencia de un peso umbral o crítico por debajo del cual la reproducción se ve afectada, indicando que la capacidad de concebir es una función del peso vivo por sí mismo y no de la tasa de ganancia posparto. En este aspecto se observó que la condición corporal al parto era uno de los factores importantes.

Witman (1975) analizó las variaciones de peso antes y después del parto y subdividió los grupos en 3 condiciones corporales al parto (buena, moderada y pobre). El 95% de vacas en buena condición al parto presentaron celo dentro de los 60 días posparto, sin relación a los cambios de peso antes o después del parto. Comprobó, además, que los cambios de peso preparto ejercen más efecto que los cambios posparto en vacas en moderada condición corporal.

En el caso de una condición pobre, solo un 25 % de las vacas que perdieron peso antes y después del parto mostraron celo dentro de los 60 días. Este porcentaje se incrementó a un 46 % en vacas que perdían peso antes del parto, pero ganaban después, mientras que aquellos animales en condición pobre que

ganaban peso antes del parto y perdían después, un 67 % de ellos presentaron celo dentro de los 60 días. Con base en estos resultados se concluyó que vacas en buena condición corporal al parto son poco afectadas por los cambios de peso pre y posparto; que un mayor porcentaje de vacas en condición moderada o pobre tendrán un intervalo parto-celo de 60 días o menos si ellas ganan peso antes del parto y que la ganancia de peso posparto es esencial en vacas en una condición pobre al parto, por pérdida de peso antes del mismo.

Las escalas utilizadas para medir la condición corporal (CC) difiere entre países, pero en todas las escalas usadas, los valores bajos siempre reflejan emaciación y valores altos equivalen a obesidad (Roche *et al.*, 2009). En vacas lecheras altas productoras, es común la utilización de una escala de 1-5 puntos.

Los problemas reproductivos pueden atribuirse, en parte, a la competencia de los ovocitos con problemas asociados con una baja CC (1.5-2.5 puntos; en escala de 1 a 5 puntos) (Snijders *et al.*, 2000). La fertilidad en las vacas condicionadas al parto con CC alta (≥ 3.5 ; en escala de 1-5 puntos) también se ve comprometida, ya que han reducido su consumo de materia seca (CMS) justo antes del parto, y también les toma más tiempo para que aumenten el CMS posparto, tienden a tener una mayor movilización de grasa y, por lo tanto, presentan un balance negativo de energía más severo en el postparto temprano que las vacas con una CC óptima al parto (Roche *et al.*, 2009).

Para el ganado cebú se ha propuesto una escala de 1-9 puntos, donde 1 es la calificación correspondiente a un animal flaco o emaciado y 9 es la calificación para un animal muy gordo (Nicholson y Butterworth, 1986). Estos autores proponen un manual de descripción estandarizado donde se describen con mayor precisión las diferencias que la escala establece en cada puntuación. En el Cuadro 19, se describen las características de cada punto de la escala mencionada, la cual fue elaborada tomando como base los criterios de evaluación propuestos por Nicholson y Butterworth (1986) y Herd y Sprott (1986).

La ventaja de un sistema de nueve puntos es que proporciona una diferenciación entre puntos y es claramente observable y repetible entre observadores y se alcanza una aproximación a una distribución continua.

La diferencia de 1 punto en un sistema de puntuación en escala de 1-5, resulta en un “paso largo” entre los puntos y puede afectar la interpretación estadística si el número de animales es pequeño. El propósito de asignarle un número a la condición corporal es para permitir el análisis estadístico de los datos y facilitar la codificación en los archivos en el programa de cómputo utilizado (Nicholson y Butterworth, 1986).

Cuadro 19. Descripción de las categorías del sistema estandarizado para evaluar la condición corporal del ganado cebú.

Valor	Condición*	Características del animal
1	F-	El animal tiene marcada emaciación y su apariencia indica que puede estar próximo a morir por inanición. La estructura de los huesos y la espaldilla, costillas, lomo y cuarto trasero son prominentes y fácilmente visibles.
2	F	Las apófisis transversas y espinosas de la columna vertebral son prominentes e individualmente visibles. Las costillas están totalmente plegadas a la piel, hay poca evidencia de grasa depositada sobre los músculos del cuarto trasero, se nota la piel flácida sobre la giba.
3	F+	Las apófisis transversas son individualmente visibles, pero ligeramente cubiertas de grasa, la cual se prolonga hasta el lomo, costilla y cuarto trasero. Las apófisis espinosas, los huesos de la cadera y del tronco de la cola son aún prominentes. La masa muscular entre el íleon y el isquion son cóncavos y plegados a la piel
4	M-	Las apófisis espinosas y transversas están cubiertas ligeramente de grasa y no pueden ser identificadas individualmente a simple vista. Los huesos de la cadera y la base de la cola, sin embargo, son claramente visibles. La masa muscular entre el íleon y el isquion es aún cóncava.
5	M	Las apófisis transversas y espinosas, así como las costillas son apenas perceptibles a simple vista. Los huesos de la cadera y la cola aparecen ligeramente cubiertos de grasa. Los músculos lateral y posterior de la pierna son ligeramente convexos.
6	M+	Las apófisis transversas y espinosas de la espina dorsal y las costillas no pueden ser observadas. Los huesos de la cadera (íleon e isquion) son apenas perceptibles a la observación. Los músculos que cubren los huesos de la cadera y posterior a la pierna son ligeramente convexos.
7	G-	La cubierta de grasa sobre el lomo y costillas redondea el entorno corporal del animal. Los huesos de la cadera aparecen

8	G	redondeados de grasa, pero aún perceptibles. Los músculos lateral y posterior de la pierna son convexos. La grasa depositada en todas las regiones corporales del animal puede ser observada fácilmente. La cubierta de grasa tiene una apariencia blanda.
9	G+	La grasa depositada en el cuerpo del animal es densa y firme, y claramente visible sobre el lomo, las costillas, las caderas, la base de la cola, la giba y el esternón.

Fuente: Nicholson y Butterworth (1986) y Herd y Sprott (1986).

*F-, corresponde a la condición corporal de un animal “muy flaco”, F es la condición de un animal “flaco”, y F+ es la condición corporal de un animal “ligeramente flaco”; (F-, F y F+ se ubican en un rango de condición pobre); M-, corresponde a la condición corporal de un animal de “gordura media baja”, M es la condición de un animal de “gordura media”, y M+ es la condición corporal de un animal de “gordura media alta”; (M-, M y M+ se ubican en un rango de condición moderada); G-, corresponde a la condición corporal de un animal “moderadamente gordo”, G es la condición de un “animal gordo”, y M+ es la condición corporal de un animal “excesivamente gordo”; (G-, G y G+ corresponden a la categoría de animales gordos.

5.11.1 Interconversión entre escalas de condición corporal

El carácter común de las partes del cuerpo evaluadas y de la relación del puntaje otorgado a la CC por la acumulación de tejido adiposo, permite la interconversión matemática entre muchas de estas escalas. Garnsworthy (2006) presentó ecuaciones para la conversión entre la escala de 1 a 5 puntos y las escalas de 4, 6, 8, 9 y 10 puntos:

Escala 1-4: $\frac{4}{3} \times CC - \frac{1}{3}$

Escala 0-5: $\frac{4}{5} \times CC + 1$

Escala 1-8: $\frac{4}{7} \times CC + \frac{3}{7}$

Escala 1-9: $\frac{1}{2} \times CC + \frac{1}{2}$

Escala 1-10: $\frac{4}{9} \times CC + \frac{5}{9}$

5.12 LITERATURA CITADA

- Adesogan, A.T., D.I. Givens, and E. Owen. 2000. Measuring chemical composition and nutritive value in forages. *In: Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Research*. Wallingford: CABI Publishing. UK. pp: 263-278.
- Agudelo G., D. A., y O. Bedoya M. 2005. Composición nutricional de la leche de ganado vacuno. *Revista Lasallista de Investigación* 2: 38-42.
- Aguillón T., E., y E. Hernández C. 2007. Diagnóstico del estado mineral de ganado bovino de leche en el Municipio de Marcos Castellanos, Michoacán. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 102 p.
- Ahloowalia, B. S. 1984. Cereals. Forage grasses. *In: Handbook of Plant Cell Cultures*. Amirato P. V., D. A. Evans, W. R. Sharp, and Y. Yamada (eds.). New York, USA. McMillan Publisher Co. pp: 91-125.
- Ahmed, M. M. M., I. M. T. Fadlalla, and M. E. S. Barri. 2002. A possible association between dietary intake of copper, zinc and phosphate and delayed puberty in heifers in Sudan. *Tropical Animal Health and Production* 34: 75-80.
- Aladro A., J. B. 1996. Diagnóstico del estado mineral de un hato de bovinos de doble propósito en Venustiano Carranza, Puebla. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. 62 p.
- Alais C. 2003. Ciencia de la Leche. Principios de Técnica Lechera. Cuarta Edición. Reverté. Barcelona, España. 877 p.
- Alais C. 1984. Ciencia de la leche. Principios de Técnica Lechera. Décima reimpresión. Continental. México. pp: 350-354.
- Albert, A., D. Bray, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts, and J. D. Watson. 1990. *Biología Molecular de la Célula*. Ed. Omega. Barcelona, España. 1449 p.
- Allen, V. G., C. Batello, E. J. Berretta, J. Hodgson, M. Kothmann, X. Li, J. Mclvor, J. Milne, C. Morris, A. Peeters, and M. Sanderson. 2011. An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science* 66: 2-28.
- Álvarez C., J. L. 2001. *Bioquímica Nutricional y Metabólica del Bovino en el Trópico*. Universidad de Antioquia. Colombia. 201 p.
- Alvear H., E., y E. Rodríguez D. 1999. Determinación mineral en forraje, suelo y suero sanguíneo de bovinos en pastoreo en la costa de Nayarit. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 89 p.

- Améndola M., R. D. 2009. Especies forrajeras disponibles en México. *In*: Memorias de Primer Congreso Internacional del Borrego. 16 p.
- ARC (Agricultural Research Council). 1980. The Nutrient Requirements of Ruminants Livestock. Commonwealth Agricultural Bureaux. Farnham, Royal. UK. 351 p.
- Arteaga C., V. 2014. Estado nutricional del ganado y acumulación de forraje en una unidad de producción de becerros. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 91 p.
- Bauman, D. E., and J. M. Griinari. 2003. Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annual Review of Nutrition* 23: 203-227.
- Beede, D. K. 2005. Assessment of water quality and nutrition for dairy cattle. *In*: Proceeding: Mid-South Ruminant Nutrition Conference. Arlington, Texas. April 27-28. 19 p.
- Beede, D. K. 2012. What will our ruminants drink? *Animal Frontiers* 2: 36-46.
- Benavides C., T. A. 2003. Efecto de las variantes genéticas A y B de κ -caseína y β -lactoglobulina sobre las propiedades de coagulación de la leche. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería en Alimentos. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Chile. Valdivia Chile 75 p.
- Bergsrud, F., and J. Linn. 1990. Water quality for livestock and poultry. University of Minnesota, St. Paul. Extension Service Publication AG-FO-1864-D.
- Berry, D. P., F. Buckley, P. Dillon, R. D. Evans, M. Rath, and R. F. Veerkamp. 2003. Genetic relationships among body condition score, body weight, milk yield, and fertility in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86: 2193-2204.
- Berry, D. P., J. M. Lee, K. A. Macdonald, and J. R. Roche. 2007. Body condition score and body weight effects on dystocia and stillbirths and consequent effects on post-calving performance. *Journal of Dairy Science* 90: 4201-4211.
- Bircham, J. S., and J. Hodgson. 1983. The influence of sward conditions on rates of herbage growth and senescence in mixed swards under continuous grazing management. *Grass Forage Science* 38: 323-331.
- Bitman, J., and D. L. Wood. 1990. Changes in milk fat phospholipids during lactation. *Journal of Dairy Science* 73: 1208-1216.
- Blanco O., M. A. 2010. Zootecnia de bovinos productores de leche. *In*: Introducción a la Zootecnia. Trujillo O., M. E. (ed.). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de México. pp: 127-161.
- Blanco A. 1989. Química Biológica. Quinta Edición. Ed. El Ateneo. Buenos Aires, Argentina. pp: 278-279.

- Bowen, H. J. M. 1966. Trace Elements in Biochemistry. Academic Press. New York. pp: 118-184.
- Boyles, S. 2007. Livestock and Water. The Ohio State University Extension. The Ohio State University. <http://www.beef.osu.edu/library/water.html> (Consultado el 3 de octubre de 2015).
- Buckley, F., J. Mee, K. O'Sullivan, R. Evans, D. Berry, and P. Dillon. 2003. Insemination factors affecting the conception rate in seasonal calving Holstein-Friesian cows. *Reproduction, Nutrition and Development* 43: 543-555.
- Cabrera T., E. J., E. Sosa R., A. F. Castellanos R., A. O. Gutiérrez B., y J. H. Ramírez S. 2009. Comparación de la concentración mineral en forrajes y suelos de zonas ganaderas del estado de Quintana Roo, México. *Veterinaria México* 40: 167-179.
- Campos, P. D. S., P. D. J. Magalhães, A. C. Cóser, and C. R. Carvalho. 2004. Rising plate meter and plant height to estimate the herbage mass in *Cynodon spp.* swards. *Ciencia Rural* 34 (2): 599-601.
- Caroli, A. M., S. Chessa, and G. J. Erhardt. 2009. Invited review: milk protein polymorphisms in cattle: Effect on animal breeding and human nutrition. *Journal of Dairy Science* 92(11): 5335-5352.
- Casado P., y J. García. 1985. La calidad de leche y los factores que la influyen. *Industrias Lácteas Españolas* 81: 1-300.
- Cashman, K. D. 2002. Minerals in dairy products. *In: Encyclopedia of Dairy Sciences*. Fuquay, J. W., P. F. Fox, and H. Roginski (eds.). Elsevier Science & Technology. Oxford. Gran Bretaña. pp: 2051-2065.
- Castañeda C., S. 2012. Diagnóstico mineral de ganado bovino en condiciones de trópico húmedo. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 60 p.
- Castillo E., G., B. Valles M., y J. Jarillo R. 2009. Relación entre materia seca presente y altura en gramas nativas del trópico mexicano. *Técnica Pecuaria en México* 47(1): 79-92.
- Chapman, D. F., and G. Lemaire. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. *Proceeding of XVII International Grassland Congress*. Palmerston North, New Zealand. pp: 95-104.
- Chávez T., E. G., y I. E. Casas F. 2004. Contenido mineral en agua, suelo, forraje y suero sanguíneo de bovinos de doble propósito en Tomatlán, Jalisco. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. 75 p.
- Chesters, J. K., and J. R. Arthur. 1988. Early biochemical defects caused by dietary trace element deficiencies. *Nutrition Research Reviews* 1: 39-56.
- Clerget, B., M. Dinguhn, E. Gozé, H. F. W. Rattunde, and B. V. Ney. 2007. Variability of phyllochrone, blastochrone and rate of increase in height

- photoperiod-sensitive sorghum varieties. *Annals of Botany* 101(4): 579-594.
- Costa, D. L. N. y J. R. da Cruz, O. 1994. Evaluación agronómica de accesiones de *Panicum maximum* en Rondonia. Brasil. *Pasturas tropicales*. 16(2): 44-47.
- Covington, C. 1993. Genetic and environmental factors affecting milk composition and their relationship to cheese yield. In: *Cheese Yield and Factors Affecting its Control*. International Dairy Federation: Proceedings of the IDF Seminar held in Cork. Irlanda. pp: 76-84.
- Cruz H., E., y M. Domínguez B. 2006. Determinación del estado mineral en cabras bajo condiciones de pastoreo en agostadero. Tesis Profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 49 p.
- Curtis H., S. Barnes, A. Schneck, y G. Flores. 2001. *Biología*. 7ª Ed. Editorial Médica Panamericana. Madrid, España. 1496 p.
- Dahlborn, K., M. Akerlind, and G. Gustafson. 1998. Water intake by dairy cows selected for high or low milk-fat percentage when fed two forage to concentrate rations with hay or silage. *Swedish Journal of Agricultural Research* 28:167-176.
- Dale, B. E. 1983. Biomass refining: protein and ethanol from alfalfa. *Industrial Engineering Chemical Production Research Development* 22(3): 466-472.
- Dat, J. F., H. Lopez-Delgado, C. H. Foyer, and I. M. Scott. 1998. Parallel changes in H₂O₂ and catalase during thermotolerance induced by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings. *Plant Physiology* 116: 1351-1357.
- Davies, A. 1988. The regrowth of grass swards. In: *The Grass Crop*. Jones M. B., and A. Lazenby (eds.). Chapman and Hall. London. pp: 85-127.
- De Peters, E., and J. Ferguson. 1992. Nonprotein nitrogen and protein distribution in the milk of cows. *Journal of Dairy Science* 75(11): 3192-3209.
- DeBenoist, B., E. McLean, I. Egli, and M. Cogswell. 2008. Worldwide prevalence of anaemia 1993–2005: WHO global database on anaemia (available at <http://whqlibdoc.who.int/>).
- de Man, J. M. 1999. *Principles of Food Chemistry*. Third Edition. An Aspen Publication. Maryland, U. S. A. p 50.
- Dillon, P., D. P. Berry, R. D. Evans, F. Buckley, and B. Horan. 2006. Consequences of genetic selection for increased milk production in European seasonal pasture based systems of milk production. *Livestock Science* 99: 141-158.

- D'Mello, J. F. 2012. Emergence of a New Momentum. *In: Amino Acids in Human Nutrition and Health*. CABI. CPI Group (UK) Ltd, Croydon. CR0 4YY. pp. 479-513.
- Domínguez-Vara I. A., y Huerta-Bravo, M., 2008. Concentración e interrelación mineral en suelo, forraje y suero de ovinos durante dos épocas en el valle de Toluca, México. *Agrociencia* 42: 173-183.
- Donato R., J. A., y L. Pérez D. 2004. Concentración mineral en el sistema suelo-forraje-bovino en la costa chica de Guerrero y Oaxaca. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 61 p.
- Durand, J. L., R. Schaefe, and F. Gastal. 1999. Grass leaf elongation rate as a function of developmental stage and temperature: Morphological analysis and modelling. *Annals of Botany* 83(5): 577-588.
- Duru, M., and H. Ducrocq. 2002. A model of lamina digestibility of Orchard grass as influenced by nitrogen and defoliation. *Crop Science* 42: 214-223.
- Ebel, H., and T. Günter. 1980. Magnesium metabolism. A review. *Journal of Clinical Chemistry and Clinical Biochemistry* 18: 257-279.
- Edmonson, A. J., I. J. Lean, L. D. Weaver, T. Farver, and G. Webster. 1989. A body condition scoring chart of Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science* 72: 68-78.
- Enríquez Q., J. F., A. Hernández G., J. Pérez P., C. A. Quero R., y C. J. Moreno G. 2003. Densidad de siembra y frecuencia de corte en el rendimiento de *Cratylia argentea* (Desvaux) O. Kuntze en el sur de Veracruz. *Técnica Pecuaria en México* 41 (1): 75-84.
- Enríquez Q., J. F., F. Meléndez N., y E. D. Bolaños A. 1999. Tecnología para la producción y manejo de forrajes tropicales en México. Veracruz, México: INIFAP. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. 262 p.
- Espitia S., P. A. 2004. Diagnóstico de minerales en ganado de doble propósito en pastoreo en Tenango, Morelos. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 58 p.
- Evans, G. O. 2009. *Animal Clinical Chemistry. A Practical Guide for Toxicologists and Biomedical Researchers*. Second Edition. CRC Press. USA. 320 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2006. *World Agriculture towards 2030/2050. Interim report. Global Perspective Studies Unit*. Rome, June.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2011. *World Livestock 2011. Livestock in food security*. Rome, Italy. 115 p.
- Faries, F. C., J. M. Sweeten, and J. C. Reagor. 1998. Water quality: Its relationship to livestock. Texas Agricultural Extension Service. L-2374.

- Faye, B., C. Grillet, A. Tessema, and M. Kamil. 1991. Copper deficiency in ruminants in the Rift Valley of East Africa. *Tropical Animal Health and Production* 23: 172-180.
- Foth, D. H., and B. G. Ellis. 1997. *Soil Fertility*. Second Edition. CRC Press Inc., Lewis Publishers. 290 p.
- Fox, P. F. 2002. Milk. *In: Encyclopedia of Dairy Sciences*. Fuquay, J. W., P. F. Fox, and H. Roginski (eds.). Elsevier Science & Technology. Oxford. UK. pp: 1806-1812.
- Foyer, C. H., M. Leandais, and K. J. Kunert. 1994. Photooxidative stress in plants. *Physiologia Plantarum* 92(4): 696-717.
- Frieden, E. 1980. Ceruloplasmin: a multi-functional metalloprotein of vertebrate plasma. *Ciba Foundation Symposium* 79:93-124
- Fukagawa, N. K., and Y. M Yu. 2009. Nutrition and metabolism of proteins and amino acids. *In: Introduction to Human Nutrition*. Gibney, M. J., S. A. Lanham-New, A. Cassidy, and H. H. Vorster (eds.). Wiley-Blackwell. Oxford. pp: 49-73.
- Gámez B., J. R. 2009. Diagnóstico mineral de bovinos en San Juan del Río, Choapam, Oaxaca. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 66 p.
- Gasque G., R., y M. A. Blanco O. 2001. *Zootecnia en Bovinos Productores de Leche*. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. UNAM. Departamento de Producción Animal: Rumiantes. Libro electrónico. 238 p. <http://fmvzenlinea.fmvz.unam.mx/login/index.php>. Consultada el 14 de septiembre del 2013.
- Georgievskii, V. I., B. N. Annenkov, and V. T. Samokhin. 1982. *Mineral Nutrition of Animals*. Ed. Butterworths. London, UK. 475 p.
- Gitman L. 2003. *Principios de la administración financiera*. Tercera Edición. Quintanar, D. E. México, D. F. 676 p.
- Goncalves, C. A., S. Dutra and F. J. A. Rodrigues. 2003. Producao de leite em pastagem de *Panicum maximum* cv. Tobiatá son níveis de suplementacao de concentrado no nordeste paraense, Brasil. *Pasturas Tropicales*. 25(2):2-11.
- Grummer, R. R. 2007. Strategies to improve fertility of high yielding dairy farms: management of the dry period. *Theriogenology* 68 (Suppl. 1): S281-S288.
- Gutiérrez O., E. 2003. Manejo para una suplementación eficiente de minerales a ganado en pastoreo. *In: Memoria del Curso Suplementación Mineral de Ganado en Zonas Áridas y Semiáridas*. Agosto de 2003. Monterrey, N.L. pp: 65-73.
- Haenlein, G. F. W. 1987. Reproductive problems can have nutritional causes. *Dairy Goat Journal* 65(11): 729-730.

- Haenlein, G. F. W. 1991. Playing attention to minerals and vitamins pays off. *Dairy Goat Journal* 70(4): 168.
- Hall, O. J. 2005. Appropriate Methods of Diagnosing Mineral Deficiencies. Mid-South Ruminant Nutrition Conference. Utah State University.
- Hazard T., S. 1997. Variación de la composición de la leche. Serie Carillanca N° 62. In: Curso taller Calidad de Leche e Interpretación de Resultados de Laboratorio. Temuco, Chile. pp: 33- 44.
- Heinemann, A. B., Fontes, A. J., Paciullo, D. S. C., Rosa, B., Macedo, R., Moreira, P. y Aroerira, L. J. M. 2005. Potencial productivo e composicao bormatológica de seis gramíneas forrageiras tropicais sob duas doses de nitrogenio e potássio. *Pasturas Tropicales* 27(1): 34-41.
- Herd, D. B., and L. R. Sprott. 1986. Body condition, nutrition and reproduction of beef cows. *Texas Agric. Ext. Serv. Bull.* 1526. Texas A & M University.
- Herd, D. B., and L. R. Sprott. 1996. Body condition, nutrition and reproduction of beef cows. *Texas Agricultural Extension Service.* B-1526.
- Hernández M., G., y J. Alvarado Z. 1996. Contenido mineral en forraje y plasma sanguíneo de bovinos en pastoreo en dos ranchos en el estado de Puebla. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 76 p.
- Hernández S. R., C. Fernández C., y P. Baptista L. 2006. Metodología de la investigación. México. 505 p.
- Hodgson, J. 1990. *Grazing Management: Science into Practice.* Longman Group Ltd. United Kingdom. 203 p.
- Hoeft, R. G., E. D. Nafziger, R. R. Johnson, and S. R. Aldrich. 2000. *Modern Corn and Soybean Production.* MCSP Publications. Champaign, IL. 353 p.
- Hoff, B., N. Schrier, H. Boermans, H. Faulker, and A. Hussein. 2001. Assessment of trace mineral san vitamin E status beef cows in Ontario. *Canadian Veterinary Journal* 42: 384-385
- Hooper, D. U., Chapin III, F. S., J. J. Ewel, A. Hector, P. Inchausti, S. Lavorel. 2005. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs* 75(1): 3-35.
- House, W. A., and A. W. Bell. 1993. Mineral accretion in the fetus and adnexa during late gestation in Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 76(10): 2999-3010.
- Huang, B., and H. Gao. 1999. Physiological responses of diverse tall fescue cultivars to drought stress. *HortScience* 34(5): 897-901.
- Huerta B., M. 1995. Suplementación mineral de ovinos en pastoreo. *Memorias del curso Tópicos Actuales sobre Nutrición y Alimentación de Ovinos en Engorda.* 17 y 19 de mayo. Chapingo, Méx. pp: 104-118.

- Huerta B., M. 1997. Nutrición de rumiantes en pastoreo. Memorias del curso Alternativas de Manejo en Bovinos para Carne en Pastoreo. 21, 22 y 23 de mayo. Chapingo, México. 55 p.
- Huerta B., M. 2003. Signos de deficiencia y respuestas a la suplementación mineral del ganado en pastoreo. In: Memoria del Curso Suplementación Mineral de Ganado en Zonas Áridas y Semiáridas. Agosto de 2003. Monterrey, N. L. pp: 48-64.
- Huppertz, T., and A. L. Kelly. 2009. Properties and constituents on cow's milk. In: Milk Processing and Quality Management. Tamime, A. Y. (ed.). Blackwell. Oxford, UK. pp: 23-47.
- Hurley, W. L. 2009. Milk Composition and Synthesis. <http://ansci.illinois.edu/static/ansc438/Milkcompsynth/milkcompsynthresources.html>. Consultada el 11 de mayo de 2014.
- Inze, D., and M. Van Montagu. 1995. Oxidative stress in plants. Current Opinion in Biotechnology 6(2): 153-158.
- Jagtap, V., and S. Bhargava. 1995. Variation in antioxidant metabolism of drought tolerant and drought susceptible varieties of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Exposed to high light, low water and high temperature stress. Journal of Plant Physiology 145 (1): 195-197.
- Jarillo-Rodríguez, J., E. Castillo-Gallegos., A. F. Flores-Garrido., B. Valles-de la Mora., L. Ramírez y Avilés., R. Escobar-Hernández., and E. Ocaña-Zavaleta. 2011. Forage yield, quality and utilization efficiency on native pastures under different stocking rates and seasons of the year in the Mexican humid tropic. Tropical and Subtropical Agroecosystems 13(3): 417-427.
- Jenkins, T. C., and M. A. McGuire. 2006. Major advances in nutrition: impact on milk composition. Journal of Dairy Science 89(4): 1302-1310.
- Jensen, B. K., B. L. Waldron, K. H. Asay, D. A. Johnson, and T. A. Monaco. 2003. Forage nutritional characteristics of orchardgrass and perennial ryegrass at five irrigation levels. Agronomy Journal 95(3): 668-675.
- Jensen, R. G. 1995. Vitamins in milk. In: Handbook of Milk Composition. Jensen R. G. (ed.). San Diego. Academic Press. pp: 688-692
- Jensen, R. G., A. M. Ferris, and C. J. Lammi-Keefe. 1991. The composition of milk fat. Journal of Dairy Science 74(9): 3228-3243.
- Jiang, Y., and B. Haung. 2000. Effects of drought or heat stress alone and in combination on Kentucky bluegrass. Crop Science 40(5): 1358-1362.
- Juárez L. J. F. 1997. Productividad del pasto estrella de África *Cynodon plectostachyus* en trópico húmedo mexicano. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. México. 124 p.

- Juárez T., J. V. 2008. Suplementación de borregos Texel x Dorset con sulfato de cobre. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 67 p.
- Kabata-Pendias, A. 2011. Trace Elements in Soil and Plants. Third Edition. CRC Press. USA. 505 p.
- Kaneko, J. J., J. W. Harvey, and M. L. Bruss. 2008. Clinical Biochemistry of Domestic Animals. Sixth Edition. Academic Press. USA. 928 p.
- Kaylegian, K. E., and R. C. Lindsay. 1995. Milk fat usage and modification. Handbook of Milk fat Fractionation Technology and Application. Journal of American Oil Chemists' Society. Press, Champaign, IL. pp: 1-18.
- Keenan, T. W., and S. Patton. 1995. The structure of milk. *In*: Handbook of Milk Composition. Jensen R. G. (ed.). San Diego. Academic Press. p. 31.
- Kincaid, R. L. 1999. Assessment of trace mineral status of ruminants: A review. Proceedings of the American Society of Animal Science. pp: 1-10.
- Kincaid, R. L. 2008. Changes in the concentration of minerals in blood of peripartum cows. Proceedings Mid-South Ruminant Nutrition Conference. Arlington, Texas. pp. 1-8.
- Lamond, D. R. 1970. The influence of under nutrition on reproduction in the cow. Animal Breeding Abstracts 38: 359-372.
- Landefeld, M., and J. Bettinger. 2007. Water effects on livestock performance. Extension Fact Sheet. The Ohio State University. <http://www.ohionline.osu.edu/anr-fact/pdf/0013.pdf>. (Consultado el 14 de septiembre de 2014).
- Latrille, L. 1993. El valor nutritivo de la leche bovina y factores que alteran su composición. Producción Animal. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal. Valdivia. Chile. pp: 27-56.
- Lazalde C., R. 2007. Contenido mineral de las vacas en producción del establo lechero de Chapingo. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 68 p.
- Lemaire, G. 2001. Ecophysiology of grasslands: dynamic aspects of forage plant population in grazed swards. Proceeding of XIX International Grassland Congress. Sao Paulo, Brasil. pp: 29-37.
- Librado C., J. G. 2007. Diagnóstico y suplementación mineral de ganado caprino en condiciones de pastoreo. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 178 p.
- LICONSA (Leche Industrializada CONASUPO, S. A. de C. V). 2007. Manual de Normas de Control de Calidad de Leche Cruda. <http://www.liconsa.gob.mx/innovaportal/file/1344/1/man-nor-cont-callec-cruda-hist.pdf>. Consultada el 18 de junio de 2013.

- Linn, J. G., M. L. Raeth-Knight, and G. L. Golombeski. 2011. Trace minerals in the dry period—boosting cow and calf health. *WCDS Advances in Dairy Technology* 23: 271-286.
- Lorenzo F., J., I. Gómez A., y E. Cordoví C. 2012. Efecto de la edad de rebrote en el rendimiento y contenido proteico del pasto *Brachiaria humidicola* cv CIAT-609 en un suelo vertisol. *Revista Producción Animal* 24(1): 6.
- Ludlow, M. M. 1980. Stress physiology of tropical pasture plants. *Tropical Grasslands* 14(3): 136-145.
- Macdonald, K. A., G. A. Verkerk, B. S. Thorrold, J. E. Pryce, J. W. Penno, L. R. McNaughton, L. J. Burton, J. A. S. Lancaster, J. H. Williamson, and C. W. Holmes. 2008. A comparison of three strains of Holstein-Friesian grazed on pasture and managed under different feed allowances. *Journal of Dairy Science* 91: 1693-1707.
- MacGibbon, A. K. H., and M. W. Taylor. 2006. Composition and structure of bovine milk lipids. *In: Advanced Dairy Chemistry Volume II Lipids*. Fox, P. F., and P. L. H. McSweeney (eds.). Third Edition. Springer. USA. pp: 1-42.
- Mannetje, L., and R. M. Jones. 2000. Measuring biomass of grassland vegetation. *In: Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Research*. Wallingford: CABI Publishing. UK. pp: 151-177.
- Manterola, H. 2007. Manejo nutricional y composición de la leche. El desafío de incrementar los sólidos totales en la leche. Una necesidad de corto plazo. Circular de Extensión Pecuaria N° 33. Universidad de Chile. 17 p.
- Martínez C., E. 2006. Diagnóstico y suplementación mineral de ganado bovino en condiciones tropicales. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 125 p.
- Martínez H., y C. Lascano. 1998. Efecto en producción de leche de vacas en pastoreo y suplementadas con *Cratylia argentea* y caña de azúcar; TROPILECHE-CIAT; Hoja informativa. Colombia. 5: 1-2.
- Matthew, C., E. N. Van Loo, E. R. Tom, L. A. Dawson, and D. A. Care. 2001. Understanding shoot and root development. *Proceedings of the XIX International Grassland Congress*. Sao Paulo, Brasil. pp: 19-27
- Mayes, P. A., and K. M. Botham. 2003. Cholesterol synthesis, transport, and excretion. *In: Harper's Illustrated Biochemistry*. Murray, R. K., D. K. Granner, P. A. Mayes, and V. W. Rodwell (eds.). 35 (ed.). Lange Medical Books/McGraw-Hill. USA. p.50
- McDonald, P., R. A. Edwards, J. F. D. Greenhalgh, C. A. Morgan, L. A. Sinclair, and R. G. Wilkinson. 2011. *Animal Nutrition*. 7th Edition. Harlow, England: Pearson. 692 p.
- McDonald, P., R. A. Edwards, J. F. D. Greenhalgh, y C. A. Morgan. 2006. *Nutrición Animal*. Sexta Edición. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 587 p.

- McDowell L. R., J. H. Consard, G. L. Ellis, y J. K. Loosli. 1984. *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales*. Academic Press, Inc. Orlando, Florida. USA. 70 p.
- McDowell L. R., J. Velásquez P., y G. Valle. 1997. *Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales*. 3a. ed. Departamento de Zootecnia. Centro de Agricultura Tropical. Universidad de Florida. Florida. USA. 83 p.
- McDowell, L. R. 1985. *Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates*. Academic Press. New York. USA.
- McDowell, L. R. 2002. Recent advances in minerals and vitamins on nutrition of lactating cows. *Pakistan Journal of Nutrition* 1(1): 8-9.
- McDowell, L. R., and J. D. Arthington. 2005. *Minerals for grazing ruminants in tropical regimes*. Fourth Edition. University of Florida. Gainesville, Florida. USA. 86 p.
- McDowell, L. R., J. H. Conrad, F. G. Hembry, L. X. Rojas, G. Valle, and J. Velásquez. 1993. *Minerals for grazing ruminants in tropical regions*. Second Edition. Animal Science Department. Center for Tropical Agriculture. University of Florida. Florida. USA. 78 p.
- McGuire, M. A., and M. K. McGuire. 2000. Conjugated linoleic acid (CLA): a ruminant fatty acid with beneficial effects on human health. *Journal of Animal Science* 77: 1-8.
- McKenzie, B. A., P. D. Kamp, D. J. Moot, C. Matthew, and R. J. Lucas. 1999. Environmental effects on plant growth and development. White J., and J. Hobson (eds.). *In: New Zealand Pasture Crop Science*. Oxford University Press. Auckland, New Zealand. pp: 29-44.
- Mena E., E. E. 1996. Diagnóstico del estado mineral de ganado bovino en Yucatán, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 90 p.
- Merchant, S. S. 2010. The elements of plant micronutrients. *Journal of Plant Physiology* 154: 512-515.
- Miles, J. W., B. L. Maass, and C. B. Do Valle. 1996. *Brachiaria: Biology, Agronomy, and Improvement*. Cali (Colombia): Centro Internacional de Agricultura Tropical. 288 pp.
- Miller, G. D., J. K. Jarvis, and L. D. Bean. 2007. *Handbook of Dairy Foods and Nutrition*. Third Edition. CRC Press. USA. 407 p.
- Mills, C. F. 1987. Biochemical and physiological indicators of mineral status in animals: copper, cobalt and zinc. *Journal of Animal Science* 65: 1702-1711.
- Minson, D. J. 1990. Copper. *In: Forage in Ruminant Nutrition*. Academic Press. San Diego, CA. USA. 463 p.

- Moliterno E. A. 2002. Variables básicas que definen el comportamiento productivo de mezclas forrajeras en su primer año. *Agrociencia* 6(1): 40-52.
- Monk, L. S., K. V. Fagerstedt, and R. M. M. Crawford. 1989. Oxygen toxicity and superoxide dismutase as an antioxidant in physiological stress. *Journal of Plant Physiology* 76:456-459.
- Morrissey, P. A., and T. R. Hill. 2009. Fat-soluble vitamins and vitamin C in milk and milk products. *In: Advanced Dairy Chemistry: Lactose, Water, Salts and Minor Constituents*. McSweeney, P. L. H., and P. F. Fox (eds.). Third Edition. Springer. New York. USA. pp: 527-589.
- Muñoz G., J. C. 2005. Estudios en minerales para pequeños rumiantes y su ambiente en el estado de Tlaxcala, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 119 p.
- Muñoz J. C., M. Huerta, R. Ramírez y M. J. González. 2013. Evaluación mineral en suero de bovinos de doble propósito en Catazajá, Chiapas, México. *In: Memorias de XXIII Reunión de la ALPA y IV Congreso Internacional de Producción Animal Tropical*; PB-118.
- Ndebele, N., J. P. Mtimuni, I. D. T. Mpofu, S. Makuza, and P. Mumba. 2005. The status of selected minerals in soil, forage and beef cattle tissues in a semi-arid region of Zimbabwe. *Tropical Animal Health and Production* 37: 381-393.
- Nelson D. L., M. Cox M., y M. Cuchillo C. 2005. Lehninger, Principios de Bioquímica. Omega (ed.). Cuarta Edición. Barcelona, España. 1264 p.
- Neville, M. C. 1995. Sampling and storage of human milk. *In: Handbook of Milk Composition*. Jensen R. G. (ed.). Academic Press. San Diego, CA. USA. pp. 63-79.
- Nicholson, C., R. W. Blake, and D. R. Lee. 1995. Livestock, deforestation and policy making: intensification of cattle production systems in Central America revisited. *Journal of Dairy Science* 78: 719-726.
- Nicholson, M. J., and M. H. Butterworth. 1986. A Guide to Condition Scoring of Zebu Cattle. International Livestock Centre for Africa. Addis Ababa, Ethiopia. 29 p.
- NOM-024-ZOO-1995 (Norma Oficial Mexicana NOM-024-ZOO-1995) Especificaciones y características zoosanitarias para el transporte de animales, sus productos y subproductos, productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo por éstos. <https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:PSNMVCJ4pEJ:www.senasica.gob.mx/includes/asp/download.as> p. Consultada el 15 de agosto de 2014.
- NRC (National Research Council). 1980. Mineral Tolerance of Domestic Animals. The National Academies Press. Washington, D. C. USA. 577 p.

- NRC (National Research Council). 1985. Nutrient Requirements of Sheep. Sixth Revised Edition. The National Academies Press. Washington, D. C. USA. 112 p.
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. Seventh Revised Edition. The National Academies Press. Washington, D. C. USA. 381 p.
- NRC (National Research Council). 2005. Mineral Tolerance of Animals: Second Revised Edition. The National Academies Press. Washington, D. C. USA. 510 p.
- NRC (National Research Council). 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. The National Academies Press. Washington, D. C. USA. 345 p.
- Núñez, O. L., y J. Bouda. 2007. Patología Clínica Veterinaria. Segunda Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 334 p.
- O'Dell, B. L., and R. A., Sunde. 1997. Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements of Livestock. Third Edition. CABI. London, UK. 613 p.
- O'Rourke, D. 2009. Nutrition and udder health in dairy cows. A review. Irish Veterinary Journal 62: 15-20.
- Olivares S., E. y E. Gutiérrez O. 2003. Flujo de minerales en agua, suelo y planta. *In: Memoria del Curso Suplementación Mineral de Ganado en Zonas Áridas y Semiáridas. Agosto de 2003. Monterrey, N.L.* pp: 11-21.
- Olkowski, A. A. 2009. Livestock Water Quality: A Field Guide for Cattle, Horses, Poultry, and Swine. Her Majesty the Queen in Right of Canada. Minister and Department of Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC). 180 p.
- Omaña L., A. 2005. Contenido mineral del suelo, forraje, concentrado, agua y suero sanguíneo de vacas lecheras en estabulación en Huaquechula, Puebla. Tesis Profesional. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 76 p.
- Ovalde, A. 2011. Optimization of plant mineral nutrition revisited: the roles of plant requirements, nutrient interactions, and soil properties in fertilization management. Environmental and Experimental Biology Review 9: 1-8.
- Palmquist, D. L. 2006. Milk fat: origin of fatty acids and influence of nutritional factors thereon. *In: Advanced Dairy Chemistry Volume II Lipids.* Fox, P. F., and P. L. H. McSweeney (eds.). 3th Edition. Springer. USA. pp: 43-92.
- Partida de la P., J. A., D. Braña V., H. Jiménez S., F. G. Ríos R., y G. Buendía R. 2013. Producción de Carne Ovina. Zibal Impresos. México. 116 p.
- Passioura, J. B. 1982. Water in soil-plant atmosphere continuum. *In: Physical Plant Ecology II. Water relation and carbón assimilation.* Lange, O. L., P.

- S. Novel, C. B. Osmond, and H. Zieger (eds.). Springer Verlag. New York. USA. 12: 5-33.
- Pereira, J. V., L. R. McDowell, J. H. Conrad, N. Wilkinson, and F. Martin. 1997. Mineral status of soils, forages and cattle in Nicaragua. I. Micro minerals. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 14: 73-89.
- Perkin-Elmer. 1996. *Métodos Analíticos para Espectroscopía de Absorción Atómica*. USA. 297 p.
- Pfander, W. H. 1971. Animal nutrition in the tropics-problems and solutions. *Journal of Animal Science* 33: 843-849.
- Pfost, D. L., and C. D. Fulhage. 2001. *Water Quality for Livestock Drinking*. Published by MU Extension, University of Missouri-Colombia. 4 p.
- Pinto R., R. 1995. *Suplementación mineral a vaquillas bajo pastoreo en la Zona Central de Chiapas*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 116 p.
- Pond, W. G., D. C. Church, K. R. Pond, and P. A. Schoknecht. 2005. *Basic Animal Nutrition and Feeding*. Wiley. New York. USA. 580 p.
- Preston, T. R. 1982. Nutritional limitations associated with the feeding of tropical forages. *Journal of Animal Science* 54: 877-884.
- Puhan, Z., and E. Jakob. 1993. Genetic variants of milk proteins and cheese yield. *In: Cheese Yield and Factors Affecting its Control*. International Dairy Federation: Proceedings of the IDF Seminar held in Cork. Ireland. pp. 111- 122.
- Puls, R. 1994. *Mineral Levels in Animal Health: Diagnostic Data*. Sherpa International, Cleerbrook, British Columbia. Canada. 224 p.
- Ramos M., P. 2009. *Diagnóstico del estado mineral de bovinos para carne pastoreando en la región huasteca alta*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 92 p.
- Requena F., D., I. Agüera E., y F. Requena. 2007. Genética de la caseína de la leche en el bovino Frisón (Milk of casein of genetic in the Frison bovine). *Revista Electrónica de Veterinaria* 8(1): 1695-7504.
- Research and Market. 2011. *Mexico milk and dairy products market outlook to 2015*. AM Mindpower Solutions http://www.researchandmarkets.com/research/ce5bee/mexico_milk_and_da. Consultada el 15 de septiembre de 2015.
- Revilla A. 1982. *Tecnología de la Leche*. Segunda Edición. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Costa Rica. pp: 31-32.
- Roche, J. R., N. C. Friggens, J. K. Kay, M. W. Fisher, K. J. Stafford, and D. P. Berry. 2009. Invited review: body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *Journal of Dairy Science* 92: 5769-5801.

- Rodríguez V., R. I., J. L. Domínguez, A., y L. A. Cob G. 1994. Técnicas Diagnósticas de Parasitología Veterinaria. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. pp. 78-81.
- Romero B., J. O., y M. Huerta B. 1990. Evaluación de siete minerales en caprinos pastoreando vegetación natural en Villa Hidalgo, Zacatecas. *In: Memoria VI Reunión Nacional sobre Caprinocultura*, San Luis Potosí, SLP. pp: 32-35.
- Roos, Y. H. 2002. Water in dairy products. *In: Encyclopedia of Dairy Sciences*. Fuquay, J. W., P. F. Fox, and H. Roginski (eds.). Elsevier Science & Technology. Oxford. Gran Bretaña. pp: 2727-2734.
- Salisbury, F. B., and C. W. Ross. 1992. Plant Physiology. Fourth Edition. California: Wadsworth Publishing Company. 682 p.
- Sánchez S., P. 2005. Contenido mineral en suero sanguíneo de ovinos en el municipio de Huamantla Tlaxcala. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 66 p.
- Santiago V., M. A., y S. Gerardo D. 1996. Estado mineral de ganado bovino y de zacates estrella y guinea en Tepetzintla, Veracruz. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 91 p.
- Santos A. 2007. Leche y sus Derivados. Editorial Trillas. 2a. ed. México. pp. 27-33.
- Schalm, O. W. 1980. Blood and blood-forming organs *In: Bovine Medicine and Surgery II*. Amstutz H. E. (ed.). American Veterinary Publication. Santa Barbara, California. USA. 791 p.
- Scott, K. J. 1989. Micronutrients in milk products. *In: Micronutrients in Milk and Milk- Based Products*. Renner E. (ed.). Elsevier. New York. USA. pp: 71-124.
- Sharma, M. C., C. Joshi, and S. Gupta. 2003. Prevalence of mineral deficiency in soils, plants and cattle of certain districts of Uttar Pradesh, Indian Journal of Veterinary Medicine 23: 4-8.
- Shearer, J. K., K. C. Bachman, and J. Boosinger. 2003. The Production of Quality Milk. IFAS. Extension Veterinarian. Collage of Veterinary Medicine. University of Florida. Florida. USA. pp. 1-8.
- Shelty, P. 2010. Nutrition, Immunity and Infection. Cambridge University Press, Cambridge. pp: 88-97.
- Sherbon, J. W. 1999. Physical properties of milk. *In: Fundamentals of Dairy Chemistry*. Jenness, R., N. P. Wong, E. H. Marth, and M. Keeney (eds.). An Aspen Publication. USA. 409 p.
- Shils, M. E. 1997. Magnesium. *In: Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements*. O'Dell, B. L., and R. A. Sunde (eds.). Marcel Dekker. New York. USA. pp: 117-152.

- Shirley R. L., y L. Montesinos J. 1978. El agua como fuentes de minerales. *In*: Simposio latinoamericano sobre investigaciones en nutrición mineral de los rumiantes en pastoreo. McDowell R. L., y J. H. Conrad (eds.). Universidad de Florida. Gainesville, Florida. USA. pp: 47-54.
- SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. <http://www.siap.gob.mx/ganaderia-resumen-estatal-pecuario/>. Consultada el 15 de noviembre de 2015.
- Simopoulos, A. P. 2000. Human requirement for n-3 polyunsaturated fatty acids. *Poultry Science* 79: 961-970.
- Simpson, R. J., and R. A. Culvenor. 1987. Photosynthesis, carbon partitioning and herbage yield. *In*: Temperate pastures: their production, use and management. Wheeler J. L., C. J. Pearson, and G. E. Robards (eds.). pp: 103-118.
- Smart, M. E., R. Cohen, D. A. Christensen, and Williams. 1986. The effects of sulphate removal from the drinking water on the plasma and liver copper and zinc concentrations of beef cows and their calves. *Canadian Journal of Animal Science* 66: 669-680.
- Smith, J. W., E. A. Adebawale, F. I. Ogundola, A. A. Taiwo, S. O. Akpavie, A. Larbi, and M. A. Jabbar. 2000. Influence of minerals on the aetiology of geophagia in periurban dairy cattle in the derived savannah of Nigeria. *Tropical Animal Health and Production* 32: 315-327.
- Snijders, S. E. M., P. Dillon, D. O'Callaghan, and M. P. Boland. 2000. Effect of genetic merit, milk yield, body condition and lactation number on *in vitro* oocyte development in dairy cows. *Theriogenology* 53: 981-989.
- Socha, M. T., D. J. Tomlinson, and J. M. DeFrain. 2009. Variability of water composition and potential impact on animal performance. *In*: Animal Nutrition Conference. pp: 58-70.
- Sordillo, L. M. 2009. Current concepts on immunity and mastitis. *WCDS Advances in Dairy Technology* 21: 111-119.
- Soule, P., and J. Piper. 1992. Farming in nature's image: An ecological approach to agriculture. Island Press. Washington, DC. USA. 301 p.
- Spears, J. W., and W. P. Weiss. 2008. Role of antioxidants and trace elements in health and immunity of transition dairy cows. *The Veterinary Journal* 176(1): 70-76.
- Stonaker, H. H. 1975. Beef production systems in the tropics I. Extensive production systems on infertile soils. *Journal of Animal Science* 41: 1218-1227.
- Suttle, N. F., G. D. Jones, C. Woolliams, and A. J. Woolliams. 1987. Heinz body anemia in lambs with deficiencies of copper or selenium. *British Journal of Nutrition* 58: 539-548.

- Suttle, N. F. 1991. Mineral supplementation of low quality roughages. *In*: Proceedings of Symposium on Isotope and Related Techniques in Animal Production and Health. International Atomic Energy Commission, Vienna. pp: 101-144.
- Suttle, N. F. 2002. Meeting the copper requirements of ruminants. *In*: Wiseman, J., and P. C. Garnsworthy (eds.). Recent Developments in Ruminant Nutrition No. 4. Nottingham University Press, Nottingham. pp: 221-236.
- Suttle, N. F. 2010. Mineral Nutrition of Livestock. Fourth Edition. CABI Publishing. UK. 579 p.
- Suttle, N. F., B. J. Alloway, and I. Thornton. 1975. An effect of soil ingestion on the utilization of dietary copper by sheep. *Journal of Agricultural Science* 84(2): 249-254.
- Tamayo J., L. 1989. Geografía Moderna de México. 9ª Edición. Trillas. D. F. México. 544 p.
- Thompson, A., M. Boland, and H. Singh. 2009. Milk Proteins from Expression to Food. First Edition. Elsevier. USA. 535 p.
- Tilman, D., P. B. Reich, J. Knops, D. Wedin, T. Mielke, and C. Lehman. 2001. Diversity and productivity in a long-term grassland experiment. *Science* 294: 843-845.
- Torres L., M. E. 2013. Diagnóstico mineral de unidades de producción ovina en Tepatitlán, Jalisco Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 57 p.
- Turner, N. C., and J. E. Begg. 1978. Responses of pastures plants water deficits. *In*: Plant Relations in Pastures. Wilson J. R. (ed.). Melbourne: CSIRO. pp. 50-66.
- Tyler, H. D., and M. E. Ensminger. 2006. Dairy Cattle Science. 4th Edition. Pearson Prentice Hall. Ohio. EUA. pp: 215-217.
- Underwood, E. J. 1981. The Mineral Nutrition of Livestock. Second Edition, Slough, UK; Commonwealth Agricultural Boureau, Slough, England. p 10.
- Underwood, E. J. y N. F. Suttle. 2003. Los Minerales en la Nutrición del Ganado. Tercera Edición. Acribia. Zaragoza, España. 633 p.
- Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 1999. The Mineral Nutrition of Livestock. CABI Publishing. 3th Edition. NY. USA. 613 p.
- UNICEF (United Nations Children's Fund). 2007. The State of the World's Children 2007. New York.
- USDA (United States Department of Agriculture). Economics, Statistics and Market Information System. 2014. Dairy: World Markets and Trade. <http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/current/dairy-market/dairy-market-12-16-2014.pdf>. Consultado el 19 de noviembre del 2015.

- Vallee, B. L. 1971. Spectral characteristics of metals in metalloenzymes. *In*: Newer Trace Elements in Nutrition. Mertz, W. A., and W. E. Cornatzer. (eds.). Marcel Decker, New York. USA. pp: 33-50.
- Veisseyre R. 1988. Lactología Técnica. Editorial Acribia. Zaragoza, España. pp. 64-114.
- Lawrence, R. C. 1991. Cheese yield potential of milk. Factors affecting the yield of cheese. International Dairy Federation: Proceedings of the IDF Seminar held in Palmerston North. New Zealand. pp: 109-120.
- Velasco-Zebadúa M. E., A. Hernández-Garay y V. A. González-Hernández. 2005. Rendimiento y valor nutritivo del ballico perenne (*Lolium perenne* L.) en respuesta a la frecuencia de corte. Técnica Pecuaria en México 43(2): 247-258.
- Vieyra-Alberto R, I. A. Domínguez-Vara, G. Olmos-Oropeza, J. F. Martínez-Montoya, J. L. Borquez-Gastelum, J. Palacio-Nuñez, J. A. Lugo, y E. Morales-Almaráz. 2013. Perfil e interrelación mineral en agua, forraje y suero sanguíneo de bovinos durante dos épocas en la huasteca potosina, México. Agrociencia 47(2): 121-133.
- Waide, R. B., M. R. Willing, C. F. Steiner, G. Mittelbach, L. Gough, and S. I. Dodson. 1999. The relationship between productivity and species richness. Annual Review of Ecology and Systematics 30: 257-300.
- Waldron, K. J., J. C. Rutherford, D. Ford, and N. J. Robinson. 2009. Metalloproteins and metal sensing. Nature 460(7257): 823-830.
- Waldron, M. R. 2010. Impact of metabolic and oxidative stressors on periparturient immune function and health. Penn State Dairy Cattle Nutrition Workshop. pp: 33-39.
- Walsh, S. W., E. J. Williams, and A. C. O. Evans. 2011. A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. Animal Reproduction Science 123: 127-138.
- Wattiaux, M. A. 2011. Composición de la leche y valor nutricional. Instituto Babcock para la Investigación y Desarrollo Internacional de la Industria Lechera. Universidad de Wisconsin-Madison. USA. pp. 73-76.
- Weiss, W. P., J. M. Pinos-Rodriguez, and M. T. Socha. 2010. Effects of feeding supplemental organic iron to late gestation and early lactation cows. Journal of Dairy Science 93(5): 2153-2160.
- Whitehead, C. D. 2000. Nutrient Elements in Grassland: Soil-Plant-Animal Relationships. CABI Publishing. New York. USA. 363 p.
- Whitman, R. W. 1975. Weight change, body condition and beef cow reproduction. PhD Thesis, Colorado State University. Fort. Collins.
- Wild A. 1992. Condiciones del Suelo y Desarrollo de las Plantas Según Russell. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. 1045 p.

- Wood, F. W., M. F. Murphy, and W. L. Dunkley. 1975. Influence of elevated polyunsaturated fatty acids on processing and physical properties of butter. *Journal of Dairy Science* 58: 839-845.
- Zimmerman, C., A., H. Rakes A., D. Jaquette R., A. Hopkins B., and Jr. Croom J. 1991. Effects of protein level and forage source on milk production and composition in early lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science* 74: 980-990.

CAPÍTULO 4

6 AVANCES EN EL ESTUDIO DE MACRO Y MICRO MINERALES EN FORRAJES CONSUMIDOS POR LOS RUMIANTES EN MÉXICO

6.1 RESUMEN

Para reunir, analizar información e identificar desbalances de minerales, se realizó una revisión de los estudios de minerales en gramíneas y leguminosas consumidas por rumiantes en diferentes regiones de México. Se encontraron diferencias ($p < 0.05$) en los contenidos de Zn, Ca, Na y P. Las leguminosas presentan niveles mayores de Cu, Fe, Ca y P en el orden de 7, 21, 119 y 38% más que las gramíneas, respectivamente. Se destacan los niveles deficientes de Cu, Zn, Na y P, arriba del 79, 48, 51 y 70%, respectivamente, del total de las observaciones realizadas, comparados con el requerimiento de bovinos, ovinos y caprinos. En conclusión, el contenido mineral en gramíneas y leguminosas en México es deficiente en la mayoría de las observaciones, principalmente de Cu, Zn, Na y P, con respecto al requerimiento de los rumiantes, lo que puede provocar deficiencias en los animales que consumen estos forrajes. Es recomendable el suplemento con los minerales deficientes en las explotaciones de rumiantes en México con la detección previa de las deficiencias mediante la observación o análisis en laboratorio de forrajes y animales para evitar los efectos negativos en la producción.

Palabras clave: gramíneas, leguminosas, deficiencias.

ADVANCES IN THE STUDY OF MACRO AND MICRO MINERALS IN FORAGES CONSUMED BY RUMINANTS IN MEXICO

6.2 ABSTRACT

To collect, analyze and identify the mineral imbalances, a review of studies of minerals in grasses and legumes consumed by ruminants in different regions of Mexico was made. Differences ($p < 0.05$) in the contents of Zn, Ca, Na, and P were found. Legumes have higher levels of Cu, Fe, Ca, and P in the order of 7, 21, 119, and 38% more than grasses, respectively. This study highlights the poor levels of Cu, Zn, Na and P in 79, 48, 51, and 70%, respectively, of the forages, compared with the requirement of cattle, sheep and goats. In conclusion, the mineral content of grasses and legumes in Mexico is deficient in most observations, mainly Cu, Zn, Na and P with respect to the requirement of ruminants, which can lead to deficiencies in animals consuming these forages. It is advisable to supplement the deficient minerals in ruminant farms in Mexico with prior detection of deficiencies through observation or laboratory analysis of forages and animals to avoid negative effects on production.

Key words: grasses, legumes, deficiencies.

6.3 INTRODUCCIÓN

Debido importantes funciones que los minerales desempeñan en la nutrición animal, actualmente se cuenta con información útil para mejorar las estrategias de nutrición del ganado, mediante la suplementación con minerales (McDowell, 2002). Aunque dicha información destaca la importancia de las funciones, deficiencias y toxicidades de los minerales en la nutrición animal, la mayoría de éstas son generadas con investigaciones realizadas en otros países, proveniente de lugares y condiciones diferentes a las de México, por lo que es difícil la adopción o adaptación de tecnologías.

Algunas investigaciones realizadas en México (Morales *et al.*, 2007; Domínguez-Vara y Huerta-Bravo, 2008) destacan la importancia del diagnóstico mineral para identificar los desbalances de minerales y su interrelación. Esto se debe a que los factores relacionados con el suelo, la planta y los animales pueden afectar la concentración y disponibilidad de los minerales, causando desequilibrios en los requerimientos de los animales (McDowell *et al.*, 1997).

Según McDowell y Arthington (2005), la evaluación del estado mineral en el ganado y de las fuentes de donde los adquiere (agua, suelo, forraje y suplementos), permite proponer alternativas para la corrección de las deficiencias minerales bajo condiciones específicas. La razón principal para evaluar el estatus mineral de los rumiantes, es por la influencia que tiene sobre su comportamiento. Así, la evaluación permite determinar la presencia o prevalencia de deficiencias o toxicidades de nutrientes en una población. Además, el diagnóstico mineral también permite evaluar la eficacia de la suplementación (Kincaid, 1999).

En México, a pesar de su importancia, la investigación en nutrición mineral publicada en revistas científicas es escasa (Morales *et al.*, 2007; Domínguez y Huerta, 2008). Además, mucha de esta información está dispersa y ha sido documentada en tesis profesionales y de grado, y en presentaciones de congresos científicos.

El objetivo de esta revisión es reunir y analizar la información disponible de los estudios de minerales en gramíneas y leguminosas consumidas por rumiantes en México, para identificar desbalances y sugerir estrategias de posibles alternativas de solución.

6.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó la compilación de 75 trabajos disponibles en línea usando los buscadores Google Scholar y PubMed, también las investigaciones disponibles en la biblioteca de la Universidad Autónoma Chapingo y el Colegio de Posgraduados, Campus Montecillo. Para determinar las diferencias estadísticas en el contenido de minerales entre gramíneas y leguminosas se usó el modelo lineal general (GLM) del programa SAS (2004). Se utilizó la prueba de Tukey (Steel *et al.*, 1997) para la comparación de medias.

6.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Requerimientos minerales en rumiantes

Las concentraciones minerales en forraje se utilizaron como criterio para la identificación de los niveles adecuados, deficientes o excesivos de minerales, con base en los requerimientos de los rumiantes, disponibles en la literatura.

En la mayoría de los trabajos citados se reportan rangos adecuados en la dieta de acuerdo a la especie animal estudiada. Sin embargo, con fines prácticos se sugiere utilizar las concentraciones mostradas en el Cuadro 20.

Cuadro 20. Niveles mínimos y máximos tolerables de minerales requeridos en la dieta de bovinos, ovinos y caprinos.

Especie/nivel	Minerales							
	-----mg kg ⁻¹ -----			-----%-----				
	Cu	Fe	Zn	Ca	Mg	Na	K	P
Bovinos								
Mínimo ^a	10	30	30	0.3	0.2	0.06	0.8	0.25
Máx. tolerable ^b	40	500	500	1.5	0.6	1.6 ^o	3.0	0.7
Ovinos								
Mínimo ^c	10	50	30	0.3	0.1	0.1	0.5	0.25
Máx. tolerable ^b	15	500	300	1.5	0.6	1.6 ^e	2.0	0.6
Caprinos								
Mínimo ^f	15	35	50	0.18	0.2	0.18	0.8	0.27
Máx. tolerable ^b	40	500	300	1.5	0.6	1.6	2.0	0.6

^aNivel mínimo con base en los requerimientos del ganado bovino (McDowell y Arthington, 2005); ^bNiveles máximos tolerables de minerales en la dieta de bovinos, ovinos y caprinos (NRC, 2005); ^cNiveles mínimos con base en las necesidades de los ovinos (NRC, 1985); ^ePuls (1988); ^fRequerimientos mínimos de acuerdo con las necesidades de los caprinos (Kessler, 1991; AFRC, 1998; Huerta, 1999; NRC, 2007); ^oHuerta, 1999.

Aporte de minerales de gramíneas y leguminosas utilizadas para la alimentación de rumiantes en México

En el Cuadro 21 se indican los forrajes que presentaron niveles deficientes, normales o altos de Cu ($n= 716$), Fe ($n= 724$), Zn ($n= 727$), Ca ($n= 732$), Mg ($n= 711$), Na ($n= 684$), K ($n= 684$) y P ($n= 701$), con base en los requerimientos de los rumiantes. Los minerales que mostraron ser más deficientes fueron Cu, Zn, Na y P.

Los porcentajes de forrajes deficientes encontrados en este estudio son parecidos a los reportados por McDowell *et al.* (1982) quienes indican que en varios estudios realizados en países tropicales, las muestras de forraje fueron deficientes en 47, 75, 60 y 73% para Cu, Zn, Na y P, respectivamente.

Cuadro 21. Forrajes en México con niveles deficientes, normales o adecuados de minerales con base en los requerimientos de los rumiantes.

Especie/nivel	Minerales							
	Cu	Fe	Zn	Ca	Mg	Na	K	P
	-----%							
Bovinos								
Deficientes	66.2	1.4	33.7	10.7	18.4	29.8	18.3	69.6
Normales*	26.1	75.6	66.3	77.4	77.1	69.7	76.0	29.4
Altos**	8.0	23.0	0.0	11.9	4.5	0.4	5.7	1.0
Ovinos								
Deficientes	66.2	4.4	33.7	10.7	0.8	47.1	8.5	69.6
Normales	16.2	72.6	64.9	77.4	94.7	52.5	65.6	27.8
Altos	7.8	23.0	1.4	11.9	4.5	0.4	25.9	2.6
Caprinos								
Deficientes	82.3	2.2	70.7	1.8	18.4	76.8	8.8	75.6
Normales	9.9	74.8	27.9	86.2	77.1	22.8	65.4	21.8
Altos	7.8	23.0	1.4	11.9	4.5	0.4	25.9	2.6

*Son aquellas concentraciones en el forraje que cubren el nivel mínimo necesario con base en las necesidades de cada especie

**Son aquellas concentraciones en el forraje que superan el máximo tolerable de cada especie

Contenido de minerales en gramíneas y leguminosas

En el Cuadro 22 se presentan las medias de los contenidos de minerales en gramíneas ($n= 662$) y leguminosas ($n= 83$) de estudios realizados en México. Se encontraron diferencias ($p<0.05$) en los contenidos de Zn, Ca, Mg, Na, K y P. Las leguminosas presentan mayores concentraciones de Ca, Mg, K y P, comparadas con las de gramíneas.

Cuadro 22. Contenido de minerales en gramíneas y leguminosas estudiadas en México.

Especie	Mineral							
	-----mg kg ⁻¹ -----			-----%-----				
	Cu	Fe	Zn	Ca	Mg	Na	K	P
Gramíneas	11.69 ^a	350 ^a	50.73 ^a	0.58 ^b	0.27 ^a	0.16 ^a	1.55 ^a	0.21 ^b
Leguminosas	11.29 ^a	423 ^a	26.57 ^b	1.27 ^a	0.30 ^a	0.11 ^b	1.66 ^a	0.29 ^a
EEM*	0.17	14.6	1.78	0.02	0.01	0.01	0.03	0.005

^{ab}Columnas con una literal en común son similares ($p>0.05$)

*EEM= error estándar de la media.

Microminerales en gramíneas y leguminosas

Las concentraciones de cobre resultaron similares en ambas especies, mientras que en el caso del Fe las leguminosas tuvieron 21% más que las gramíneas. Por otro lado, aunque las medias de Cu para ambas especies forrajeras son mayores que los niveles mínimos requeridos para los rumiantes, debe tomarse en consideración que un alto porcentaje de las observaciones tuvieron concentraciones deficientes de este mineral.

El contenido de hierro fue elevado en ambas especies forrajeras, incluso superior al nivel crítico para rumiantes (McDowell y Arthington, 2005). Minson (1990) menciona que existen diferencias en forrajes de distinta especie y de diferente clima, por ejemplo, en las concentraciones de Cu en leguminosas de clima tropical y templado con 3.9 y 7.8, de Zn con 40 y 38 mg kg⁻¹, respectivamente; en gramíneas de clima tropical y templado con concentraciones de Cu de 7.8 y 4.7, de Zn 36 y 34 mg kg⁻¹, respectivamente. Para Suttle (2010) las leguminosas aportan más minerales que las gramíneas, lo que coincide con lo observado en este estudio.

Según Underwood y Suttle (1999) y Whitehead (2000), la concentración de nutrimentos del forraje refleja la fertilidad del suelo donde éste crece. El Cu en las plantas funciona como un componente esencial de un gran número de enzimas (Curtis y Barnes, 2000) y participa en algunos procesos como la formación de polen, la lignificación de las paredes celulares, así como en el metabolismo de carbohidratos y nitrógeno (Baker y Ammerman, 1995). Además, la absorción de Cu por las plantas también se limita en suelos con pH alcalino o alto contenido de materia orgánica (NRC, 2007). El Mo ha sido el factor de interferencia más estudiado, posiblemente por ser el responsable de los cuadros más graves de hipocuprosis y los primeros en ser registrados. La interferencia del Mo parece depender, más que de su concentración absoluta en la dieta, de la relación Cu:Mo, y se ha sugerido que para evitar la deficiencia de Cu, ésta debe ser mayor a 2:1 (Phillippo, 1983), o 4:1 (Miller *et al.*, 1988).

Aunque solamente el 23% de los forrajes estuvieron por arriba del nivel máximo tolerable de Fe (500 mg kg^{-1} , NRC, 2005), 55% tuvieron concentraciones arriba de 250 mg kg^{-1} . Según Spears (1994) entre 250 y 1200 ppm de Fe pueden afectar negativamente el estatus de Cu en bovinos y ovinos. El alto hierro dietético ha mostrado que disminuye el status del cobre en bovinos (Humphries *et al.*, 1985; Phillip *et al.*, 1987; Mullis *et al.*, 2003) y ovinos (Prabowo *et al.*, 1988; Whitehead, 2000; Grace y Lee, 1990). La concentración entre 549 a 990 mg kg^{-1} de Fe en la dieta puede causar deficiencia de Cu en ganado caprino (Ivan *et al.*, 1990).

Respecto al Zn, la mayoría de las observaciones muestran deficiencia de este mineral. Según el NRC (2001), las altas concentraciones de Fe y Ca interfieren con la absorción del Zn en los forrajes. El 28% de los forrajes tuvieron concentraciones de 8 a 19.6 mg kg^{-1} de Zn; White *et al.* (1991) reportan que los rumiantes en pastoreo presentan deficiencia de Zn al consumir forrajes con niveles menores a 20 ppm, ocasionando pobre crecimiento, reducción de la fertilidad y bajos niveles de Zn en plasma. Dichas deficiencias pueden deberse a la carencia de Zn en el suelo.

En los Cuadros 23 y 24 se presentan los microminerales en gramíneas y leguminosas, respectivamente, estudiados en México.

Cuadro 23. Contenido de microminerales (mg kg⁻¹) en gramíneas utilizadas para la alimentación de rumiantes en México.

Mineral			Lugar	Autor
Cu	Fe	Zn		
6.63	556	34.13	Salinas Victoria, Nuevo León.	Giménez, 1976
24.13	1224	86.00	Dr. González, Nuevo León.	Guardado, 1976
10.84	543	119.76	Bustamante, Nuevo León.	Madero, 1976
7.43	450	28.00	China, Nuevo León.	Noguera, 1976
8.40	670	50.25	San Juan de las Sabinas, Coahuila.	Cruz, 1977
7.46	347	56.06	Cadereyta, Nuevo León.	De Las Fuentes, 1977
17.00	638	71.00	Sabinas Hidalgo, Nuevo León.	Gómez, 1977
20.87	396	90.00	Cerralvo, Nuevo León.	Mejía, 1977
8.86	291	42.14	Cadereyta, Nuevo León.	Mier y Terán, 1977
4.87	190	52.00	Múzquiz, Coahuila.	Obeso, 1977
13.32	933	114.55	San Juan de las Sabinas, Coahuila.	Siller, 1977b
7.49	751	76.63	Abasolo, Nuevo León.	Villareal, 1977
14.35	562	97.50	Martínez de la Torre, Veracruz.	Valdéz, 1977
9.90	105		Martínez de la Torre, Veracruz.	Sánchez, 1978
11.00	200	50.00	Soto la Marina, Tamaulipas.	Ibarra, 1979
9.22	729	17.00	Ex lago Texcoco, Estado de México.	Mellink y Quintanilla, 1979
11.00	107	29.00	Tempoal, Veracruz.	Ortega, 1979
7.00	189	32.00	Tuxpan, Veracruz.	Barradas, 1980
12.00	107	48.00	Paso del Toro, Veracruz.	Castillo <i>et al.</i> , 1981
17.50	466	21.50	Hueytamalco, Puebla.	Payán <i>et al.</i> , 1983

Continuación...

Mineral			Lugar	Autor
Cu	Fe	Zn		
5.60	-	38.17	Camino Real, Campeche.	Castrillo <i>et al.</i> , 1983
9.50	268	36.50	Paso del Toro, Veracruz.	Cortés <i>et al.</i> , 1983
5.91	201	254.71	Sierra mojada, Coahuila.	Mejía, 1984
3.80	125	43.50	Martínez de la Torre, Veracruz.	Rivas <i>et al.</i> , 1984
3.46	236	30.25	Tizimín, Yucatán.	Torreblanca <i>et al.</i> , 1985
7.80	132	28.00	Mazapil, Zacatecas	Mejía, 1989
6.69	157	72.05	Quintana Roo, Quintana Roo.	Méndez, 1989
15.50	144	47.50	Villa Hidalgo, Zacatecas.	Romero, 1989
3.72	152	73.60	Guaname, San Luis Potosí.	Rodríguez, 1990
12.05	134	186.00	Yucatán, Yucatán.	Millán <i>et al.</i> , 1990
2.30	37	32.50	Chorreños, Durango.	López, 1991
11.74	327	92.18	Puyacatengo, Tabasco.	Morúa y Hurtado, 1991
6.67	779	26.33	Santa Catarina del Monte, Edo. Méx.	Gutiérrez <i>et al.</i> , 1993
14.00	698	50.00	Marín, Nuevo León.	Ramírez, 1994
4.37	220	28.00	Villaflores, Chis.	Pinto, 1995
3.02	192	14.78	V. Carranza, Puebla.	Aladro, 1996
3.40	458	21.00	Atotonilco, Hidalgo.	De Loera y Villaseca, 1996
4.30	601	33.00	Zaragoza, Puebla.	Hernández y Alvarado, 1996
5.73	39	33.38	Centro y Sur, Tamaulipas.	Kawas, 1996
7.03	114	26.53	Yucatán.	Mena, 1996
7.34	133	33.80	Yucatán.	Sabido, 1996
4.86	86	23.10	Tepetzintla, Veracruz.	Santiago y Gerardo, 1996

Continuación...

Mineral			Lugar	Autor
Cu	Fe	Zn		
7.50	211	25.00	Acatlán, Hidalgo.	Agustín y Raya, 1996
3.42	363	18.40	Valle de México	Andrade y Contreras, 1997
2.00	121	18.00	San Blas, Nayarit.	Alvear y Rodríguez 1999
3.45	947	28.00	La calera, Guerrero.	Alvear, 2003
4.72	300	111.50	Tomatlán, Jalisco.	Chávez y Casas, 2004
4.00	299	29.50	Pinotepa nacional, Oaxaca.	Donato, 2004
8.10	69	28.00	Tenango, Morelos.	Espitia, 2004
23.49	1193	61.00	Hidalgotitlán, Veracruz.	Aguirre y López, 2004
8.57	478	24.68	Tlaxcala, Tlaxcala.	Muñoz, 2005
3.80	76	25.00	Huaquechula, Puebla.	Omaña, 2005
1.20	235	29.11	Benemérito de las Américas, Chiapas.	Pétriz, 2005
2.00	576	8.00	Chapingo, Estado de México.	Sánchez, 2005
5.84	333	20.40	Rodríguez Clara, Veracruz.	Martínez, 2006
2.87	391	19.50	Tepeyahualco, Puebla.	Librado, 2007
8.03	227	38.80	Zihuatanejo, Guerrero.	Marure, 2007
13.41	220	20.01	Valle de Toluca, Estado de México.	Morales <i>et al.</i> , 2007
2.11	472	26.08	Tenango del Valle Estado de México.	Domínguez-Vara y Huerta-Bravo, 2008
4.50	263	19.00	San Juan del Rio, Oaxaca.	Gámez, 2009
7.82	436	40.20	Tampico alto, Veracruz.	Ramos, 2009
11.18	234	28.17	Yucatán.	Vivas <i>et al.</i> , 2011
5.98	256	16.60	Jesús Carranza, Veracruz.	Castañeda, 2012

Cotinuación...

Mineral			Lugar	Autor
Cu	Fe	Zn		
-	128	23.00	Tamuín, San Luis Potosí.	Vieyra-Alberto <i>et al.</i> , 2013
5.61	148	52.67	Tuzamapan de Galeana y Jonotla, Puebla.	Arteaga, 2014
6.07	276	36.90	Catazajá, Chiapas.	Muñoz <i>et al.</i> , 2014
3.58	108	22.00	Tamuín, San Luis Potosí.	Santiago, 2014

Cuadro 24. Contenido de microminerales (mg kg⁻¹) en leguminosas utilizadas para la alimentación de rumiantes en México.

Mineral			Lugar	Autor
Cu	Fe	Zn		
17.00	303	20.00	Ex lago de Texcoco Estado de México.	Payán <i>et al.</i> , 1983
15.50	143	69.50	Quintana Roo, QR.	Méndez, 1989
2.46	36	31.00	Chorreños, Durango.	López, 1991
2.18	552	27.83	Tenango del Valle, Estado de México.	Domínguez, 1993
10.53	113	28.00	Yucatán.	Sabido, 1996
5.82	421	19.33	Valle de México.	Andrade y Contreras, 1997
4.64	201	29.00	San Blas, Nayarit.	Alvear y Rodríguez, 1999
10.07	924	27.53	Tlaxcala, Tlaxcala	Muñoz, 2005
3.70	186	17.50	Huaquechula, Puebla.	Omaña, 2005
4.30	293	21.33	Chapingo, Estado de México.	Sánchez, 2005
10.10	684	21.89	San José Ixtapa, Puebla.	Cruz y Domínguez, 2006
4.40	52	22.00	Zihuatanejo, Gro.	Marure, 2007
17.80	267	26.00	Yucatán.	Vivas <i>et al.</i> , 2011
-	165	32.00	Tamuín, San Luis Potosí.	Vieyra-Alberto <i>et al.</i> , 2013
11.33	141	22.00	Tamuín, San Luis Potosí	Santiago, 2014

Macrominerales en gramíneas y leguminosas

Las leguminosas tienen mayor contenido de Ca y P (119 y 38%) que las gramíneas. Lara *et al.* (2013) han reportado mayor aporte de Ca y P en leguminosas, mientras que Vivas *et al.* (2012) también observaron mayor porcentaje de Ca en leguminosas comparadas con otras gramíneas; Gomide y Zometa (1976) observaron mayor porcentaje de Mg en leguminosas. En la mayoría de las plantas, las concentraciones de Ca, Mg y K son suficientes para cubrir los requisitos de las tres especies de rumiantes. Hubo una gran variación en los niveles de Ca de 0.02 a 5%, sobrepasando en algunos el requerimiento promedio recomendado para los rumiantes (McDowell y Arthington, 2005; NRC, 1985; Kessler, 1991). Olivares y Gutiérrez (2003) indican que las plantas contienen cantidades considerables de Ca que varían de 0.5 a 3%, dependiendo de la especie, estado fisiológico de la planta, época del año y pH del suelo. Según Huerta (2003) la deficiencia de Ca en rumiantes pastoreando gramíneas es rara y nunca ocurre en leguminosas. Aunque la mayoría de las observaciones reportan niveles adecuados de K, Moya *et al.* (2002) reportaron que la mayoría de plantas arbustivas que crecen en las regiones semiáridas del sur de Texas y noreste de México contienen niveles de K que sobrepasan en mucho los requerimientos de rumiantes.

El Na fue deficiente en la mayoría de los forrajes y ninguna superó el máximo tolerable, lo que significa que su concentración (al igual que el Cu, Zn y P) es uno de los minerales más deficientes en las plantas ofrecidas a los rumiantes en México. El 63% de los forrajes tuvieron concentraciones promedio de 0.002 a 0.07%, lo que representa severas deficiencias para el ganado (Huerta, 1999). La deficiencia de Na está ampliamente distribuida en el mundo, debido a que todos los tipos de alimentos son deficientes, excepto algunos arbustos de regiones semiáridas como *Atriplex ssp.* o *Larrea tridentata* (McDowell, 1997; Moya *et al.*, 2002). Lo anterior se debe a que las plantas desérticas pueden acumular Na con el objetivo de sobrellevar el estrés salino e hídrico (Salisbury y Ross, 1994). El sodio es indispensable en el sistema Na-K-ATPasa,

responsable de crear el gradiente eléctrico necesario para el transporte de nutrientes. La bomba Na-K es esencial para posibilitar el transporte de glucosa, aminoácidos y fósforo hacia las células, y de hidrógeno, calcio, bicarbonato, potasio y cloro fuera de ellas (McDowell, 2002; NRC, 2001; O'Dell y Sunde, 1997).

Las concentraciones de P en los forrajes resultaron deficientes en su mayoría y variaron de 0.01 a 0.77%. Este rango es mayor a lo mencionado por Barnes *et al.* (1990) y Ramírez *et al.* (2001) quienes mencionan contenidos de P de 0.1 a 0.28% y de 0.07 a 0.26%, respectivamente. McDowell (1992) señala que la deficiencia de este elemento puede ser considerada como la más difundida e importante de todos los minerales no disponibles que afectan al ganado en pastoreo. Por último, las condiciones de sequía, heladas y el aumento en la madurez también repercuten en bajas concentraciones de P en el forraje (Spears, 1994). En específico, para ganado caprino, la deficiencia de P puede llegar a ser más severa debido a la frecuencia de fetos múltiples (Meschy, 2000).

En los Cuadros 25 y 26 se presentan las concentraciones de macrominerales en gramíneas y leguminosas, respectivamente, utilizadas para la alimentación del ganado en México.

Cuadro 25. Contenido de macrominerales (%) en gramíneas utilizadas para la alimentación de rumiantes en México.

Mineral					Lugar	Autor
Ca	Mg	Na	K	P		
0.46	-	-	-	0.11	Tamuín, San Luis Potosí.	Galván, 1972
1.16	0.29	0.01	0.61	0.08	Salinas Victoria, Nuevo León.	Giménez, 1976
0.32	-	-	-	0.14	Villagrán, Tamaulipas.	González, 1976
2.02	0.31	0.07	1.30	0.09	Dr. González, Nuevo León.	Guardado, 1976
0.64	0.30	0.05	0.40	0.09	Bustamante, Nuevo León.	Madero, 1976
0.37	0.23	0.13	0.75	0.12	China, Nuevo León.	Noguera, 1976
0.51	0.08	0.12	0.58	0.03	San Juan de las Sabinas, Coahuila.	Cruz, 1977
0.86	0.85	0.93	1.22	0.16	Cadereyta, Nuevo León.	De Las Fuentes, 1977
0.88	0.43	-	1.05	-	Sabinas Hgo, Nuevo León.	Gámez, 1977
3.92	0.21	0.11	1.30	0.19	Cerralvo, Nuevo León.	Mejía, 1977
1.05	0.19	0.17	1.14	-	Cadereyta, Nuevo León.	Mier y Terán, 1977
0.33	0.37	0.24	2.18	-	Ciénega de flores, Nuevo León.	Obeso, 1977
0.80	0.10	0.15	0.54	0.07	Múzquiz, Coahuila.	Siller, 1977a
1.58	0.29	0.13	0.73	0.08	San Juan de las Sabinas, Coahuila.	Siller, 1977b
1.37	0.13	0.04	0.71	0.21	Abasolo, Nuevo León.	Villareal, 1977
0.37	0.18	-	-	0.26	Martínez de la Torre, Veracruz.	Valdés, 1977
0.36	0.22	-	0.90	0.13	Martínez de la Torre, Veracruz.	Sánchez, 1978
0.50	-	-	-	0.16	Güemez, Tamaulipas.	Benitez, 1979
0.40	0.25	0.15	0.80	0.11	Soto la Marina, Tamaulipas.	Ibarra, 1979

Continuación...

Mineral					Lugar	Autor
Ca	Mg	Na	K	P		
0.25	0.16	-	1.03	0.10	Ex lago Texcoco, Estado de México.	Mellink y Quintanilla, 1979
0.33	0.21	0.09	0.80	0.18	Tempoal, Veracruz.	Ortega, 1979
0.51	0.18	0.15	1.80	0.31	Tuxpan, Veracruz.	Barradas, 1980
0.78	-	0.10	-	0.36	Tizimín, Yucatán.	Barradas y Cook, 1981
0.45	0.21	0.05	-	0.18	Paso del Toro, Veracruz.	Castillo <i>et al.</i> , 1981
0.39	0.15	0.07	-	0.14	Hueytamalco, Puebla.	Payán <i>et al.</i> , 1983
0.74	0.22	0.06	1.28	0.28	Camino real, Campeche.	Castrillo <i>et al.</i> , 1983
0.44	0.16	0.04	1.70	0.34	Paso del Toro, Veracruz.	Cortés <i>et al.</i> , 1983
0.59	0.30	0.06	1.34	0.15	Sierra mojada, Coahuila.	Mejía, 1984
0.60	0.22	0.48	1.00	0.18	Martínez de la Torre, Veracruz.	Rivas <i>et al.</i> , 1984
0.56	0.22	-	-	0.23	Tizimín, Yucatán.	Torreblanca <i>et al.</i> , 1985
1.02	0.25	0.09	1.30	0.08	Mazapil, Zacatecas	Mejía, 1989
0.90	0.26	0.13		0.26	Quintana Roo.	Méndez, 1989
1.60	0.23	0.41	1.20	0.18	Villa Hidalgo, Zacatecas.	Romero, 1989
1.58	0.16	0.08	-	0.06	Guaname, San Luis Potosí.	Rodríguez, 1990
0.64	-	0.51	-	0.23	Yucatán, Yucatán.	Millán <i>et al.</i> , 1990
0.41	0.46	0.10	0.77	0.31	Chorreños, Durango.	López, 1991
0.44	0.33	0.36	2.05	0.14	Puyacatengo, Tabasco.	Morúa y Hurtado, 1991
1.76	0.27	0.08	1.73	0.36	Sta. Catarina del M. Estado de México.	Gutiérrez <i>et al.</i> , 1993
1.60	0.50	1.20	1.80	-	Marín, Nuevo León.	Ramírez, 1994
0.32	0.21	0.03	1.79	0.30	Villaflores, Chiapas.	Pinto, 1995

Continuación...

Mineral					Lugar	Autor
Ca	Mg	Na	K	P		
0.33	0.19	0.02	0.79	0.17	V. Carranza, Puebla.	Aladro, 1996
0.35	0.11	0.07	2.10	0.33	Atotonilco, Hidalgo.	De Loera y Villaseca, 1996
0.33	0.24	0.02	2.54	0.24	Zaragoza, Puebla.	Hernández y Alvarado, 1996
0.36	0.10	0.13	0.99	0.19	Centro y Sur, Tamaulipas.	Kawas, 1996
0.85	0.24	0.05	1.34	0.20	Yucatán	Mena, 1996
1.23	0.24	0.13	1.26	0.18	Yucatán	Sabido, 1996
0.23	0.14	0.04	1.53	0.22	Tepetzintla, Veracruz.	Santiago y Gerardo, 1996
0.59	0.29	0.33	3.80	0.31	Acatlán, Hidalgo.	Agustín y Raya, 1996
0.33	0.21	0.02	1.64	0.27	Valle de México	Andrade y Contreras, 1997
0.18	0.13	0.06	0.12	0.02	San Blas, Nayarit.	Alvear y Rodríguez, 1999
0.35	0.18	0.04	1.59	0.18	La calera, Guerrero.	Alvear, 2003
0.87	0.25	0.07	1.55	0.15	Tomatlán, Jalisco.	Chávez y Casas, 2004
0.39	0.16	0.12	0.88	0.18	Pinotepa nacional, Oaxaca.	Donato, 2004
0.60	0.24	0.02	0.73	0.27	Tenango, Morelos.	Espitia, 2004
0.51	0.34	0.07	3.50	0.55	Hidalgotitlán, Veracruz.	Aguirre y López, 2004
0.64	0.27	0.07	2.69	0.42	Tlaxcala, Tlaxcala.	Muñoz, 2005
0.40	0.28	0.01	1.80	0.34	Huaquechula, Puebla.	Omaña, 2005
0.48	0.23	0.15	1.49	0.16	Benemérito de las Américas, Chiapas.	Pétriz, 2005
0.30	0.28	0.05	0.58	0.23	Chapingo, Estado de México.	Sánchez, 2005
0.34	0.32	0.06	1.20	0.18	Rodríguez Clara, Veracruz.	Martínez, 2006

Continuación...

Mineral					Lugar	Autor
Ca	Mg	Na	K	P		
1.10	0.24	0.08	1.73	0.24	Tepeyahualco, Puebla.	Librado, 2007
0.56	0.60	0.09	2.31	0.42	Zihuatanejo, Guerrero.	Marure, 2007
0.50	0.25	0.35	1.29	0.33	Valle de Toluca, Estado de México.	Morales <i>et al.</i> , 2007
0.46	0.14	-	1.31	0.36	Tenango del Valle, Edo. de México	Domínguez-Vara y Huerta-Bravo, 2008
0.35	0.18	0.04	1.61	0.20	San Juan del Rio, Oaxaca.	Gámez, 2009
0.50	0.14	0.02	1.45	0.31	Tampico Alto, Veracruz.	Ramos, 2009
0.45	-	-	0.49	-	Yucatán.	Vivas <i>et al.</i> , 2011
0.40	0.20	0.03	2.31	0.32	Jesús Carranza, Veracruz.	Castañeda, 2012
0.25	0.04	0.08	0.15	0.06	Tamuín, San Luis Potosí.	Vieyra-Alberto <i>et al.</i> , 2013
0.66	0.28	0.06	1.39	0.24	Tuzamapan y Jonotla, Puebla.	Arteaga, 2014
0.35	0.27	0.12	1.74	0.20	Catazajá, Chiapas.	Muñoz <i>et al.</i> , 2014
0.16	0.18	0.21	2.07	0.14	Tamuín, San Luis Potosí.	Santiago, 2014

Cuadro 26. Contenido de macrominerales (%) en leguminosas utilizadas para la alimentación de rumiantes en México.

Minerales					Lugar	Autor
Ca	Mg	Na	K	P		
3.32	0.40	0.09	-	0.29	Ex lago de Tex. Estado de México.	Payán <i>et al.</i> , 1983
1.34	0.25	0.13	-	0.33	Quintana Roo, Quintana Roo.	Méndez, 1989
0.72	0.52	0.06	0.56	0.23	Chorreños, Durango.	López, 1991
0.42	0.14	-	1.38	0.48	Tenango del Valle, Estado de México.	Domínguez, 1993
1.77	0.31	0.11	1.44	0.18	Yucatán, Yucatán.	Sabido, 1996
1.54	0.38	0.10	2.92	0.44	Valle de México.	Andrade y Contreras, 1997
0.29	0.19	0.03	0.18	0.04	San Blas y Santiago, Nayarit.	Alvear y Rodríguez, 1999
1.34	0.31	0.09	2.75	0.45	Tlaxcala, Tlaxcala	Muñoz, 2005
0.71	0.32	0.12	2.31	0.33	Huaquechula, Puebla.	Omaña, 2005
1.14	0.28	0.44	1.71	0.33	Chapingo, Estado de México.	Sánchez, 2005
1.13	-	0.03	0.17	0.16	San José Ixtapa, Puebla.	Cruz y Domínguez, 2006
0.45	0.26	0.03	2.44	0.24	Zihuatanejo, Guerrero.	Marure, 2007
0.87	-	-	0.51	-	Yucatán, Yucatán.	Vivas <i>et al.</i> , 2011
0.80	0.07	0.10	0.16	0.10	Tamuín, San Luis Potosí.	Vieyra-Alberto <i>et al.</i> , 2013
0.23	0.33	0.22	2.07	0.28	Tamuín, San Luis Potosí.	Santiago, 2014

Recomendaciones para corregir desbalances de minerales en rumiantes.

De acuerdo a las deficiencias de Cu, Zn, Na y P encontradas, se recomienda la suplementación estratégica *ad libitum* con estos minerales. El suplemento debe garantizar por lo menos el requerimiento mínimo de los minerales deficientes y evaluar periódicamente el status mineral de los animales.

Los suplementos minerales no deben aportar hierro y potasio, ya que se encuentran en concentraciones adecuadas o altas en la mayoría de las plantas, y por su efecto antagónico con otros minerales deficientes.

6.6 CONCLUSIONES

Las leguminosas estudiadas en México, tienen una mayor concentración de Ca, Fe y P, comparado con las gramíneas.

El contenido mineral en gramíneas y leguminosas en México es deficiente, principalmente en Cu, Zn, Na y P, con respecto al requerimiento de los rumiantes, lo que puede provocar deficiencias en los animales que consumen estos forrajes.

Se recomienda la suplementación principalmente con Cu, Zn, Na y P en las unidades de producción ganaderas de México; sin embargo, antes es necesaria la identificación de signos de deficiencias en forrajes y animales a través de la observación o análisis de laboratorio que permitan un diagnóstico preciso para una suplementación exitosa.

6.7 LITERATURA CITADA

- AFRC (Agricultural and Food Research Council). 1998. The Nutrition of Goats. Nutrition Abstracts and Reviews (Series B) 67(11). CAB International. London, UK. 115 p.
- Aguirre R., C. J., y W. López A. 2004. Estado mineral de bovinos de doble propósito bajo pastoreo en Hidalgotitlán, Veracruz. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 43 p.
- Agustín R., M. G., y M. A. Raya C. 1996. Contenido mineral en suelo, forraje y suero sanguíneo de bovinos productores de leche en pastoreo en Acatlán, Hidalgo. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 113 p.
- Aladro J., B. 1996. Diagnóstico del estado mineral de un hato de bovinos de doble propósito en Venustiano Carranza, Puebla. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 62 p.
- Alvear H., E. 2003. Diagnóstico y suplementación mineral en ganado bovino de Zirándaro, Guerrero. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 124 p.

- Alvear H., E., y E. Rodríguez D. 1999. Determinación mineral en forraje, suelo y suero sanguíneo de bovinos en pastoreo en la costa de Nayarit. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 89 p.
- Andrade P., D., y M. A. Contreras R. 1997. Determinación de la composición química de alfalfa y maíz ensilado en el Valle de México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 77 p.
- Arteaga C., V. 2014. Estado nutricional del ganado y acumulación de forraje en una unidad de producción de becerros. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 91 p.
- Baker, D. H., and C. B. Ammerman. 1995. Copper bioavailability. Copper bioavailability. In: Ammerman, C. B., Baker, D. H., and Lewis, A. J. (Eds.), Bioavailability of Nutrients for Animals. Academic Press, New York. USA. pp: 127-156.
- Barnes, T. G., L. W. Varner, L. H. Blankenship, T. J. Fillinger, and S. C. Heineman. 1990. Macro and trace mineral content of selected south Texas deer forages. Journal of Range Management 43: 220-223.
- Barradas L., H. V., y Cook, R. M. 1981. Contenido mineral de suelos, pastos y ganado en ranchos de las regiones central y norte del estado de Veracruz. Mem. XV Reunión Anual del INIP. p. 167-170.
- Barradas, L. H. V. y Cook, R. M. 1981. Contenido mineral de suelos, pastos y ganado en ranchos de las regiones central y norte del estado de Veracruz. Mem. XV Reunión Anual del INIP. pp: 167-170.
- Benitez B., F. J. 1979. Suplementación de cama de pollo, fósforo y microminerales a vaquillas cebú en pastoreo de zacate Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) bajo condiciones de clima sub-tropical seco. II. Respuesta biológica. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. 70 p.
- Campbell, A. G., M. R. Coup, W. H. Bishop, and D. E. Wright. 1974. Effect of elevated iron intake on copper status of grazing cattle. New Zealand Journal of Agricultural Research 17: 393.
- Castañeda C., S. 2012. Diagnóstico mineral de ganado bovino en condiciones de trópico húmedo. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 60 p.
- Castillo R., F., M. Pérez D., M. Payán R., y C. Cortés C. 1981. Algunos factores que afectan el contenido de minerales en diferentes zacates introducidos en Tizimín, Yucatán y Paso Del Toro, Ver. Mem. XV Reunión Anual de Investigación Pecuaria, INIP-SARH. p. 155-158
- Castrillo P. H., V. Monroy A., y A. Castellanos R. 1983. Composición mineral de tres gramíneas, concentración de los mismos elementos en suero de bovinos y respuesta a la suplementación mineral en la zona de

Camino Real, Campeche. Mem. Reunión Nacional de Inv. Pecuaria en Méx. pp: 785-788.

- Chacón-Moreno, E. y Sarmiento, G. 1995. Dinámica del crecimiento y producción primaria de gramínea forrajera tropical, *P. maximum* (tipo común), ante diferentes frecuencias de corte. Turrialba 45 (1-2): 8-18.
- Chávez T., E. G., y I. E. Casas F. 2004. Contenido mineral en agua, suelo, forraje y suero sanguíneo de bovinos de doble propósito en Tomatlán, Jalisco. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 75 p.
- Cortés C., M. Pérez, M. Canudas, y H. López. 1983. Efecto de fertilización y riego sobre la composición bromatológica y la concentración de minerales en el zacate estrella de África. Mem. XVII Reunión Nacional de Inv. Pecuaria en México. México, D. F. p. 895-899.
- Cruz H. E., y M. Domínguez B. 2006. Determinación del estado mineral en cabras bajo condiciones de pastoreo en agostadero. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 49 p.
- Cruz S., S. A. 1977. Deficiencias y toxicidades de minerales del ganado bovino en pastoreo en San Juan de Sabinas, Coahuila. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. 60 p.
- Curtis H., y N. S. Barnes. 2000. Procesos de transporte en las plantas. En: Shnek y Flores (Ed.), Biología, Sexta edición en español. Editorial Médica, Panamericana, pp: 982-1006.
- de las Fuentes C., F. 1977. Deficiencias y toxicidades minerales del ganado bovino en pastoreo en Cadereyta Jiménez, N. L. (invierno-primavera) .I. Determinación de niveles. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. 59 p.
- De Loera R., J., y H. Villaseca F. 1996. Status mineral en suelo, forraje y suero sanguíneo en ganadera vaquerías. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 67 p.
- Domínguez V., I. A. 1993. Diagnóstico del estado mineral de ovinos bajo condiciones de pastoreo en Tenango del Valle, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 159 p.
- Domínguez-Vara, I. A., y M. Huerta-Bravo. 2008. Concentración e interrelación mineral en suelo, forraje y suero de ovinos durante dos épocas en el Valle de Toluca, México. Agrociencia 42: 173-183.
- Donato R., J. A., y L. Pérez D. 2004. Concentración mineral en el sistema suelo - forraje - bovino, en la costa chica de Guerrero y Oaxaca. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 61 p.

- Espitia S., P. A. 2004. Diagnóstico de minerales en ganado de doble propósito en pastoreo en Tenango, Morelos. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 58 p.
- Galván A., J. M. 1972. Efectos de dos concentraciones de fósforo suplementadas a vaquillas en pastoreo. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. 51 p.
- Gámez B., J. R. 2009. Diagnóstico del estado mineral de bovinos en San Juan Del Río, Choapam, Oaxaca. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 66 p.
- Gámez G., A. 1977. Determinación de deficiencias y toxicidades de minerales del ganado bovino en pastoreo en el municipio de Sabinas Hidalgo, N.L., verano de 1976. I. Determinación de niveles. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. 60 p.
- Giménez G., E. A. 1976. Determinación de deficiencias y toxicidades de minerales en bovinos en pastoreo en el municipio Salinas Victoria, N.L. (primavera y verano) I. Determinación de niveles. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. 111 p.
- González P., R. J. 1976. Ácido fosfórico y fosfato disódico como suplemento a vaquillas en pastoreo de zacate, Buffel (*Cenchrus ciliaris* L.). Tesis Profesional. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. 73 p.
- Grace, N. D., and J. Lee. 1990. Effect of Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Se, and Zn supplementation on the elemental content of soft tissues and bone in sheep grazing ryegrass/white clover pasture. New Zealand Journal of Agricultural Research 33(4): 635-647.
- Guardado A., R. E. 1976. Determinación de deficiencias y toxicidades minerales del ganado bovino en pastoreo en el estado de Nuevo León, Dr. González, N.L. (invierno) I. Determinación de niveles. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. 85 p.
- Gutiérrez L., C. A., P. Nieto G., y M. Pérez M. 1993. Contenido mineral y respuesta a la suplementación de ovinos en pastoreo en Santa Catarina del Monte, México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 80 p.
- Hernández M., G., y J. Alvarado Z. 1996. Contenido mineral en forraje y plasma sanguíneo de bovinos en pastoreo en dos ranchos en el estado de Puebla. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 76 p.

- Huerta B., M. 1997. Nutrición de rumiantes en pastoreo. *In: Memoria del curso Alternativas de Manejo en Bovinos para Carne en Pastoreo*. 21-23 de mayo. Chapingo, Estado de México. 55 p.
- Huerta B., M. 1999. Diagnóstico del estado mineral de explotaciones bovinas en México. *In: Memoria del II Seminario Internacional Estrategias de Suplementación a Bovinos en Pastoreo*. 28 y 29 de octubre. Chapingo, Edo. de México. pp: 153-184.
- Huerta B., M. 2003. Signos de deficiencia y respuestas a la suplementación mineral del ganado en pastoreo. *In: Memoria del Curso Suplementación Mineral de Ganado en Zonas Áridas y Semiáridas*. Agosto de 2003. Monterrey, N.L. pp: 48-64.
- Humphries, W. E., I. Bremner, and M. Phillippo. 1985. The influence of dietary iron on copper metabolism in the calf. *In: Mills, C. F., I. Bremner, and J. K. Chesters (eds.). Proceedings of the fifth International Symposium on Trace Element in Man and Animals*. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, UK. pp: 367-370.
- Humphries, W. R., M. Phillippo, B. W. Young, and I. Bremner. 1983. The influence of dietary iron and molybdenum on copper metabolism in calves. *British Journal of Nutrition* 49(1): 77-86.
- Ibarra C., J. C. A. 1979. Suplementación de minerales a ganado bovino en pastoreo de zacate Guinea (*Panicum maximum* Jack) durante la época seca en región subtropical. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. 73 p.
- Ivan, M., M. Hidirolou, S. L. Al-Ismaïly, H. S. Al-Sumry, and R. B. Harper. 1990. Copper deficiency and posterior paralysis (Shalal) in small ruminants in the sultanate de Oman. *Tropical Animal Health and Production* 22: 217-225.
- Kawas G., J. J. 1996. Determinación del perfil mineral de especies forrajeras de cuatro zonas geográficas del litoral de México. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 204 p.
- Kessler, J. 1991. Mineral nutrition of goats. *Goat Nutrition* 46: 104-119.
- Kincaid, R. L. 1999. Assessment of trace mineral status of ruminants: A review. *Proceedings of the American Society of Animal Science*. pp: 1-10.
- Lara, B. A.; Reyes, C. A.; Martínez, M. M.; Miranda, R. L. A.; Huerta, B., M. y Krishnamurthy, L. 2013. Composición nutrimental de la leucaena (*Leucaena leucocephala* Lam. De Wit) asociada con pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) en la región huasteca potosina de México. *Memorias: XXIII Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción*. La Habana, Cuba.
- Librado C., J. G. 2007. Diagnóstico y suplementación mineral de ganado caprino en condiciones de pastoreo. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 178 p.

- López O., R. 1991. Concentración mineral en suelo, forraje y suero sanguíneo de bovinos en Chorreños, Durango. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 166 p.
- Madero R., J. G. 1976. Determinación de deficiencias y toxicidades minerales del ganado bovino en el Estado de Nuevo León. I. Determinación de niveles. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. 124 p.
- Martínez C., E. 2006. Diagnóstico y suplementación mineral de ganado bovino en condiciones tropicales. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 102 p.
- Marure H., Y. C. 2007. Diagnóstico mineral en explotaciones ovinas de Zihuatanejo, Guerrero. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 60 p.
- McDowell L. R., J. P. Velásquez, y G. Valle. 1997. Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales. Departamento de Zootecnia. Centro de Agricultura Tropical. Universidad de Florida. 3a. ed. 83 p.
- McDowell, L. R. 1992. Minerals in Animal and Human Nutrition. Academic Press, San Diego, CA. USA. pp: 524
- McDowell, L. R. 1997. Minerals for grazing ruminants in tropical regions. Third Edition. Bulletin, University of Florida. Gainesville, FL, USA, 81 p.
- McDowell, L. R. Bauer, E. Galdo, M. Koger, K. J. Loosli, and H. J. Conrad. 1982. Mineral supplementation of beef cattle in the Bolivian tropics. Journal of Animal Science 55: 964-970.
- McDowell, L. R., G. Valle, L. Cristaldi, P. A. Davis, O. Rosendo, and N. S. Wilkinson. 2002. Selenium availability and methods of selenium supplementation for grazing ruminants. Preceedings 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium. pp: 86-102.
- McDowell, L. R., y J. D. Arthington. 2005. Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales. Cuarta edición. Universidad de Florida. Gainesville, Florida. USA. 94.
- Mejía A., C. 1977. Determinación de deficiencias y toxicidades de minerales de bovinos en pastoreo en el Municipio de Cerralvo, Nuevo León. (invierno 1976-1977). 1. Determinación de niveles. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. 148 p.
- Mejía H., A. 1984. Determinación de deficiencias y / o toxicidad de minerales en tres, municipios ganaderos del estado de Coahuila. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México. 96 p.

- Mellink B., E. 1979. Valor nutritivo del zacate salado (*Distichlis spicata* (L.) Greene), producido en el ex-Lago de Texcoco. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 80 p.
- Mena E., E. 1996. Diagnóstico del estado mineral del ganado bovino en el estado de Yucatán. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 90 p.
- Méndez E., L. G. 1989. Estado mineral y reproducción estacional de vacas lecheras en Quintana Roo. Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 102 p.
- Meschy, F. 2000. Recent progress in the assessment of mineral requirements of goats. *Livestock Production Science* 64(1): 9-14.
- Mier y Terán P., J. E. 1977. Determinación de deficiencias y toxicidades minerales del ganado bovino en el estado de Nuevo León. I. Determinación de niveles, Cadereyta Jiménez, N.L. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. 65 p.
- Millán C., H., G. Aguirre M., I. Escamilla A., R. F. Castellanos A. 1990. Perfil mineral del pasto guinea en el oriente de Yucatán. *Veterinaria México*. 21(4): 399.
- Miller, J. K., N. Ramsey, and F. C. Madsen. 1988. The trace elements. *In*: Church D. C. (ed.). *The Ruminant Animal: Digestive physiology and nutrition*. Prentice Hall, Englewood Cliffs. NY. USA. pp: 342-400.
- Minson, D. J. 1990. Copper. *In*: *Forage in Ruminant Nutrition*. Academic Press, Sidney. pp: 316-324.
- Morales A., E., I. Domínguez V., M. González-Ronquillo, G. Jaramillo E., O. Castelán O., N. Pescador S., y M. Huerta B. 2007. Diagnóstico mineral en forraje y suero sanguíneo de bovinos lecheros en dos épocas en el valle central de México. *Técnica Pecuaria en México* 45(3): 329-344.
- Morúa B., M., y G. Hurtado R. 1991. Contenido mineral de gramíneas forrajeras tropicales en Puyacatengo, Tabasco. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 97 p.
- Moya, R., G., R. G. Ramírez L., R. Foroughbachkch, L. A., Hauad, y H. González R. 2002. Variación estacional de minerales en las hojas de ocho especies arbustivas. *Ciencia UANL*. 1: 59-65.
- Mullis, L. A., J. W. Spears, and R. L. McCraw. 2003. Effects of breed (Angus vs Simmental) and copper and zinc source on mineral status fed high dietary iron. *Journal of Animal Science* 81(1): 318-322.
- Muñoz G., J. C. 2005. Estudios en minerales para pequeños rumiantes y su ambiente en el estado de Tlaxcala, México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 119 p.

- Muñoz-González, J. C., M. Huerta-Bravo, R. Rangel-Santos, A. Lara-Bueno, and J. L., De la Rosa-Arana. 2014. Mineral assessment of forage in mexican humid tropics. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 17: 285-287.
- Noguera O., R. 1976. Deficiencias y toxicidades de minerales de bovinos. China, N. L. (Invierno-Primavera). 1. Determinación de niveles. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. 97 p.
- NRC (National Research Council). 1985. Nutrients Requirements of Sheep. Sixth Revised Edition. The National Academies Press, Washington, D. C. USA. 112 p.
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Rev. Ed. The National Academies Press, Washington, D. C. USA. 406 p.
- NRC (National Research Council). 2005. Mineral Tolerance of Animals: Second Revised Edition. The National Academies Press. Washington, D. C. USA. 510 p.
- NRC (National Research Council). 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. The National Academies Press. Washington, D. C. USA. 345 p.
- O'Dell, B. L., and R. A. Sunde. 1997. Introduction. In: O'Dell, B. L. y R. A. Sunde (Eds.). *Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements of Livestock*. 3rd ed. CABI. London, UK. 613 p.
- Obeso S., H. 1977. Determinación de deficiencias y toxicidades minerales de ganado bovino en pastoreo en el municipio de Ciénega de Flores, Nuevo León. I. Determinación de niveles. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. 92 p.
- Olivares S., E., y E. Gutiérrez O. 2003. Flujo de minerales en agua, suelo y planta. In: *Memoria del Curso Suplementación Mineral de Ganado en Zonas Áridas y Semiáridas*. Agosto de 2003. Monterrey, N. L. pp: 11-21.
- Omaña L., A. 2005. Contenido mineral del suelo, forraje, concentrado, agua y suero sanguíneo de vacas lecheras en estabulación en Huaquechula, Puebla. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 76 p.
- Ortega del A., J. L. 1979. Niveles de minerales en suelo, forraje y suero sanguíneo y suplementación fosfórica a becerros en pastoreo de zacate estrella africana (*Cynodon plectostachyus*. Pilger) en región subtropical. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. 82 p.
- Pétriz C., Y. 2005. Determinación del contenido mineral en suelo, forraje, agua y plasma sanguíneo de bovinos de doble propósito en el municipio de

Benemérito de las Américas, Chiapas. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 75 p.

- Phillippo, M. 1983. The role of dose-response trials in predicting trace element deficiency disorders. *In*: Suttle, N. F., R. G. Gunn, W. M. Allen, K. A. Linklater and G. Wiener (eds.). Trace elements in animal production and veterinary practice. British Society of Animal Production. Special publication No. 7. Edinburgh. pp: 51-60.
- Phillippo, M., W. R. Humphries, T. Atkinson, G. D. Henderson, and P.H. Garthwaite. 1987. The effect of dietary molybdenum and iron on copper status, puberty, fertility and estrus cycles in cattle. *Journal of Agricultural Science* 109: 321-336.
- Prabowo, A., J. W. Spears, and L. Goode. 1988. Effects of dietary iron on performance and mineral utilization in lambs fed a forage-based diet. *Journal of Animal Science* 66: 2028.
- Puls, R. 1988. Minerals Levels in Animal Health. Diagnostic Data. Sherpa International. British Columbia, Canadá. 153 p.
- Ramírez L., R. 1994. Composición y calidad nutritiva del forraje seleccionado por cabras en pastoreo en los agostaderos del noreste de México. Mem. IX Reunión Nacional sobre Caprinocultura, La Paz, BC. p. 52-63.
- Ramírez-Briebesca J., E., J. L. Tórtora P., L. M. Hernández C., and M. Huerta B. 2001a. Main causes of mortalities in dairy goat kids from the Mexican plateau. *Small Ruminants Research* 41: 77-80.
- Ramos M., P. 2009. Diagnóstico del estado mineral de bovinos para carne pastoreando en la región huasteca alta. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 92 p.
- Rivas M., V., M. A. Aguirre G., L. López, y R. Rosiles M. 1984. Contenido de macro y microelementos esenciales en forrajes del trópico. *Memorias de la Reunión de Investigación Pecuaria en México*. p. 27.
- Rodríguez G., O. 1990. Evaluación del estado mineral de ovinos pastoreando vegetación natural en Venado, San Luis Potosí. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 54 p.
- Romero B., J. O. 1989. Evaluación del status mineral de caprinos pastoreando vegetación natural en el altiplano potosino. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. 114 P.
- Sabido L., L. A. 1996. Diagnóstico mineral del ganado bovino en el centro, sur y la costa de Yucatán. 1. Contenido mineral en suelo, forraje, agua y suplementos. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 72 p.
- Salisbury, F. B., and C. W. Ross. 1994. Fisiología en condiciones de estrés. *In*: Philip, N. G. (Ed.), *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Iberoamericana, México, D.F, pp: 639-667.

- Sánchez D., J. T. 2005. Minerales en suelos, forrajes, alimentos y animales en una unidad de producción de leche en pastoreo en Chapingo, México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 49 p.
- Sánchez H., A. L. 1978. Evaluación de la suplementación de minerales a bovinos en pastoreo de zacate estrella africana (*Cynodon plectostachyus* Pilger) bajo condiciones de clima tropical húmedo. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. 82 p.
- Sánchez S., P. 2005b. Contenido mineral en suero sanguíneo de ovinos en municipio de Huamantla Tlaxcala. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 66 p.
- Santiago F., I. 2014. Composición química y mineral de la leucaena (*Leucaena leucocephala* Lam de Wit) asociada con pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) durante la estación de lluvias en un sistema silvopastoril intensivosición química y mineral de la leucaena. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 42 p.
- Santiago V., M. A., y S. Gerardo D. 1996. Estado mineral de ganado bovino y de zacates estrella y guinea en Tepetzintla, Veracruz. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 91 p.
- Siller B., E. 1977a. Deficiencias y toxicidades de minerales en ganado bovino en pastoreo en Melchor, Múzquiz, Coahuila, invierno 1976-77 y primavera de 1977. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. 102 p.
- Siller C., V. A. 1977b. Determinación de las deficiencias y toxicidades de minerales en bovinos en pastoreo en el municipio de Sabinas, Coahuila (Mar.-Oct. 1977). 1. Determinación de niveles. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, N. L. 81 h.
- Spears, J. W. 1994. Minerals in forage. In: Fahey jr., G.C. (Ed.). Proceedings of the National Conference on Forage, Quality, Evaluation and Utilization. University of Nebraska. Lincoln, Nebraska, E. U. pp: 281-317.
- Steel, R. G. D., J. H. Torrie and D. A. Dickey. 1997. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 3rd edition. McGraw-Hill Series in Probability and Statistics. USA
- Torreblanca F., P., E. Vera G., G. Tapia P., y M. Pérez D. 1985. Efecto de zona geográfica sobre el contenido mineral de 4 especies de pastos tropicales. Memorias de la Reunión de Investigación Pecuaria en México. p. 169.

- Underwood E. J., y N. F. Suttle. 2003. Los Minerales en la Nutrición del Ganado. 3^a. ed. Edit. Acribia. Zaragoza, España. 633 p.
- Underwood, E. J., and N. F. Suttle. 1999. The Mineral Nutrition of Livestock. CABI. Publishing 3rd edition. London, England. pp. 185-212.
- Valdés C., J. 1977. Estudio del contenido de algunos macro y microminerales presentes en diferentes pastos del municipio de Martínez de la Torre, Ver. Tesis Profesional. Universidad Nacional Autónoma De México, México, D. F. 152 p.
- Vieyra-Alberto R., I. A. Domínguez-Vara, G. Olmos-Oropeza, J. F. Martínez-Montoya, J. L. Borquez-Gastelum, J. Palacio-Nuñez, A. Lugo J., y E. Morales-Almaráz. 2013. Perfil e interrelación mineral en agua, forraje y suero sanguíneo de bovinos durante dos épocas en la huasteca potosina, México, Agrociencia 47: 121-133
- Villareal B., M. H. 1977. Determinación de deficiencias y toxicidades minerales del ganado bovino en pastoreo en el Municipio de Abasolo, N.L. (invierno 1976). Determinación de niveles. Tesis Profesional. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México. 68 p.
- Vivas M., E. F., J. G. Rosado R., A. F. Castellanos R., M. Heredia A., y E. J. Cabrera-Torres. 2011. Contenido mineral de forrajes en predios de ovinocultores del estado de Yucatán. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias 2(4): 465-475.
- White, C. L., B. S. Chandler, and D. W. Peter. 1991. Zinc supplementation of lactating ewes and weaned lamb grazing improved Mediterranean pastures. Australian Journal of Experimental Agricultural 31: 183.
- Whitehead, C. D. 2000. Nutrient Elements in Grassland: Soil-Plant-Animal Relationships. CABI Publishing. UK. 369 p.

CAPÍTULO 5

7 Perfil mineral del sistema bovino doble propósito en tres épocas del año en el trópico húmedo de México¹

¹J. C. Muñoz-González, ¹M. Huerta-Bravo, ¹R. Rangel-Santos, ¹A. Lara-Bueno ²J. L. de la Rosa-Arana

¹Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Zootecnia. Posgrado en Producción Animal. Carretera México-Texcoco, Km 38.5, Chapingo, Estado de México, CP 56230. México. Tel: 595 952 1621.

²Secretaría de Salud de México. Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos. Francisco de Paula Miranda 117, México D.F., CP 01480. México. Tel: 555 062 1600

*Autor por Correspondencia: Email:

7.1 Resumen

Con el propósito de evaluar el estado mineral en bovinos doble propósito en el trópico húmedo mexicano, se determinaron los contenidos de cobre (Cu) hierro (Fe), cinc (Zn), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K) y fósforo (P) en muestras de agua de bebida, suelo, forraje y suero sanguíneo de 96 vacas y sus crías, en cinco ranchos ganaderos del trópico húmedo de México, durante las épocas de lluvias, nortes y secas. En forraje también se determinaron los porcentajes de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA). El análisis de los datos consideró los efectos de rancho, época del año, tipo animal, especie forrajera y sus interacciones. En el agua y suelo hubo mayor ($p \leq 0.001$) contenido de todos los minerales estudiados en la época seca, excepto el K en suelo. El 88, 72, 56 y 85 % de las muestras de suelo tuvieron concentraciones bajas de Cu, Zn, Na y P, respectivamente. Los contenidos de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, PC y FDA de los forrajes fueron mayores ($p \leq 0.05$) en la época seca. El 98, 29.5, 47.6 y 81% de las muestras de forraje analizadas mostraron niveles bajos de Cu, Zn, Na y P, respectivamente. En suero sanguíneo hubo mayor ($p \leq 0.001$) contenido de Cu, Fe, Zn, Ca y K en la época de lluvias. El 94, 85 y 21.5 % de los animales tuvieron concentraciones séricas de Cu, Zn y Na por abajo de sus requerimientos, respectivamente, mientras que el P fue deficiente en el 14.5% de las vacas y 23% de las crías. La interacción entre rancho y época del año fue significativa ($p \leq 0.01$) para las concentraciones de: Cu, Zn y P en el agua de bebida; Fe, Zn Mg y P en el suelo; Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na y P en los forrajes y Cu, Fe, Zn, Ca, Na, K y P, en suero sanguíneo. También la interacción rancho x tipo de animal (vaca o cría) tuvo efecto ($p \leq 0.01$) en las concentraciones de Na y P, y la interacción época del año x tipo de animal en las concentraciones de Zn y Na en suero sanguíneo. Se concluye que existen deficiencias de Cu, Zn, Na y P en forrajes, suelos y suero sanguíneo de bovinos doble propósito en el trópico húmedo de México, siendo la época de lluvias donde se presentan los menores contenidos de minerales, PC y FDA, y mayores contenidos de FDN, mientras en la época de secas ocurre lo contrario.

Palabras clave: Rumiantes, suero sanguíneo, forrajes, Chiapas.

¹Universidad Autónoma Chapingo. Posgrado en Producción Animal. Departamento de Zootecnia. Km 38.5 carretera México- Texcoco, Chapingo, Estado de México, México C. P. 56230. mhuertab@taurus.chapingo.mx Tel. (595) 9521621.

²Instituto Nacional de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos. Av. Francisco de P. Miranda #177, Col. Unidad Lomas de Plateros, Del. Álvaro Obregón, C.P. 01480, México Distrito Federal.

Mineral profile of dual-purpose cattle system in three seasons in the humid tropics of Mexico

7.2 Abstract

In order to evaluate the mineral status in dual-purpose cattle in the Mexican humid tropics, the contents of copper (Cu), iron (Fe), zinc (Zn), calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na), potassium (K) and phosphorus (P) in samples of drinking water, soil, forage and blood serum of 96 cows and their calves, in five cattle ranches in the humid tropics of Mexico, during the rainy, windy and dry were determined. Forage percentages of crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) were also determined. The data analysis considered the effects ranch, season, animal type, forage species and their interactions. In water and soil were higher ($p \leq 0.001$) content of all minerals studied in the dry season, except K in soil. 88, 72, 56 and 85% of the soil samples had low concentrations of Cu, Zn, Na and P, respectively. The contents of Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, PC and FDA in forages were higher ($p \leq 0.05$) in the dry season. 98, 29.5, 47.6 and 81% of the forage samples analyzed showed low levels of Cu, Zn, Na and P, respectively. In blood serum was higher ($p \leq 0.001$) content of Cu, Fe, Zn, Ca and K in the rainy season. 94, 85 and 21.5% of the animals had serum concentrations of Cu, Zn and Na lower of your requirements, respectively, while P was deficient in 14.5% of cows and 23% of the calf. The interaction between ranch and season of year was significant ($p \leq 0.01$) for concentrations of Cu, Zn and P in drinking water; Fe, Zn, Mg and P in the soil; Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na and P in forages and Cu, Fe, Zn, Ca, Na, K and P in blood serum. The interaction ranch x animal type was significant ($p \leq 0.01$) in concentrations of Na and P, and the interaction season of year x animal type (cow or calf) in the concentrations of Zn and Na in blood serum. It is concluded that there are deficiencies of Cu, Zn, Na and P in forages, soil and blood serum of cattle dual purpose in the humid tropics of Mexico, being the rainy season where lower contents of minerals, CP and ADF are presented, and higher contents of NDF, while in the dry season the opposite occurs.

Key words: Ruminants, blood serum, forage, Chiapas.

7.3 Introducción

La importancia biológica de los minerales en la nutrición animal radica en que al menos el 50% de los procesos enzimáticos requieren de la disponibilidad de al menos un mineral (Waldron et al. 2009). Los Minerales como el cobre (Cu), zinc (Zn) y selenio (Se) tienen un papel importante como componentes de varias enzimas, incluyendo la citocromo oxidasa, lo que significa que esos minerales están involucrados en el metabolismo de carbohidratos y lípidos (McDowell y Arthington, 2005). Además, varios minerales actúan en el sistema inmune del animal, tanto para mantener la integridad estructural de las barreras epiteliales contra las infecciones (Richards et al. 2010) así como componentes de varias enzimas antioxidantes (Waldron, 2010).

En el trópico húmedo del sureste de México se presentan tres épocas del año bien definidas, las épocas de lluvias (junio-septiembre), nortes (octubre-enero) y secas (febrero-mayo); las diferentes condiciones climatológicas de cada época influyen en la cantidad y calidad del forraje disponible para el ganado. McDowell (1985) menciona que existen amplias deficiencias de minerales, desbalances y toxicidades, en las áreas tropicales, siendo las deficiencias de Cu y P las más limitantes en la producción ganadera. De acuerdo con McDowell y Arthington (2005), la evaluación del estado mineral en el ganado, así como de las fuentes donde los adquiere (agua, suelo, forraje y suplementos), permite proponer alternativas para la corrección de las deficiencias minerales en condiciones específicas. Asimismo, estudios realizados en México (Morales et al. 2007, Domínguez-Vara y Huerta-Bravo 2008, Vázquez et al. 2011, Vieyra-Aberto et al. 2013) destacan la importancia de la evaluación mineral para identificar los desbalances de minerales y sus interrelaciones ya que factores relacionados con el suelo, la planta y los animales pueden afectar la concentración y disponibilidad de los minerales, causando desequilibrios en los requerimientos de los animales.

En México hay poca información en nutrición mineral animal, además, las prácticas de suplementación de minerales son inapropiadas, ya que usualmente se proporcionan mezclas minerales no específicas para la región; además de que se proporcionan en cantidades inadecuadas, presentándose desequilibrios

nutricionales que afectan la productividad de los animales. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar la concentración mineral del forraje, suelo, agua de bebida, alimento concentrado, suplemento mineral y suero sanguíneo de vacas de doble propósito y sus crías, durante las épocas de lluvias, nortes y secas, en cinco ranchos ganaderos del trópico húmedo de México.

7.4 Materiales y métodos

Localización y descripción de las características del área de estudio

El trabajo de campo se realizó durante el 2013 en cinco ranchos ganaderos de doble propósito en pastoreo, con productores ejidales de Punta Arenas, Municipio de Catazajá, Chiapas, México. El área de estudio se ubica entre las coordenadas 17°43'13"N con 92°01'03"O y 17°46'50"N con 92°06'50"O; tiene clima cálido húmedo con lluvias todo el año (Af) (57.41%) y cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Aw) (42.59%), con precipitación promedio anual de 2,763 mm y temperatura media anual de 26 °C (INEGI, 2009), y altura de 9 a 10 msnm. La región se caracteriza por tener tres épocas del año bien definidas: época de lluvias de moderadas a intensas (junio a septiembre); época de "nortes" con temperaturas bajas y frecuente nubosidad (octubre-enero); y época de sequía con escasa humedad, irradiación solar y temperaturas elevadas (febrero a mayo).

La superficie de los ranchos evaluados fue de 34±12.4 ha cubiertas con pasturas tropicales (96%), corrales de manejo y cuerpos de agua. Los forrajes predominantes son *Paspalum notatum* (69.4%), *Brachiaria humidicola* (24.7%), *Brachiaria brizantha* (2.9%) y *Brachiaria hibrida* CIAT 36061 (2.9%). Solo en dos ranchos, los bovinos fueron suplementados con alimento balanceado comercial y pre-mezcla mineral.

Animales y manejo

Las vacas usadas fueron cruza de razas *Bos indicus* (Gyr, Brahman o Nelore) con *Bos taurus* (Pardo Suizo, Holstein o Simmental). En cuatro de los cinco ranchos evaluados se realiza pastoreo rotacional, mientras que en el otro el pastoreo es continuo.

Obtención de muestras

En todos los ranchos ganaderos se tomaron muestras de forraje, suelo, agua de bebida y sangre de vacas y sus crías, durante los meses de septiembre (lluvias), enero (nortes) y mayo (secas). Asimismo, se tomaron muestras del suplemento comercial y pre-mezcla mineral ofrecidos.

Muestras de agua

En cada muestreo se tomaron 500 ml de agua por duplicado, mediante la metodología recomendada por Ramos *et al.* (2003), en botellas de plástico libres de residuos, de la fuente donde beben agua los animales, colectándose 16 muestras de agua por cada época del año. Adicionalmente, en cada sitio de muestreo se tomó una muestra de agua a la cual se le agregó 0.3 ml de ácido nítrico al 50% por cada 100 ml de agua, para el análisis de Fe. Posteriormente, las muestras de agua fueron filtradas con papel Whatman® número 542 y se congelaron a -20 °C en frascos de plástico limpios y sellados con tapa hermética.

Muestras de forraje y suelo

Se colectaron cinco muestras de 400 g de forraje en cada rancho usando la técnica de muestreo manual dirigido "Hand Plucking" (Le Du y Penning, 1982), simulando la actividad de pastoreo del ganado (Fick *et al.* 1979). Asimismo, se tomaron 25 muestras de 500 g de suelo (0 a 15 cm de profundidad) en cada época del año (cinco muestras por rancho ganadero) mediante la metodología descrita por Aguilar (1987). Se utilizaron guantes de látex y bolsas de plástico para el manejo y almacenamiento de las muestras de suelo y forraje.

Muestras de suplemento concentrado y pre-mezclas de minerales

En dos ranchos (2 y 3) se tomaron muestras del suplemento concentrado y de la pre-mezcla mineral directamente de los sacos, usando guantes esterilizados de látex y bolsas de plástico.

Las muestras de forraje, suelo, alimento concentrado y pre-mezclas de minerales fueron secadas a 65 °C durante 48 horas en una estufa de aire forzado, las muestras secas de suelo se molieron en un mortero y se cernieron a través de una criba de 1 mm. Las muestras secas de forraje se molieron en un molino de aspas con criba de 1 mm (Fick et al. 1979), y se almacenaron en bolsas de plástico.

Muestras de sangre

Las muestras de sangre, se tomaron por duplicado, de 10 vacas y 10 becerros lactantes, seleccionados al azar en cada rancho y en cada época del año (100 animales por cada época), siguiendo la metodología propuesta por Fick *et al.* (1979), mediante la punción de la vena yugular usando agujas calibre 18 y tubos Vacutainer™ de 10 ml sin anticoagulante. Después de dos horas de reposo, las muestras se centrifugaron a 3,000 rpm por 10 minutos, para separar el suero sanguíneo, el cual se conservó en congelación a -20 °C hasta el posterior análisis del perfil mineral.

Análisis de laboratorio

El análisis mineral de forraje, suelo, agua, alimento concentrado, y suero sanguíneo se realizó en el Laboratorio de Nutrición de Rumiantes del Posgrado en Producción Animal de la Universidad Autónoma Chapingo, determinándose los contenidos de cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y potasio (K), mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica descrita por Perkin-Elmer (1996), utilizando un espectrofotómetro marca Perkin Elmer modelo AAnalyst 700; y el fósforo (P) mediante el método colorimétrico (Fick *et al.* 1979; Clesceri *et al.* 1992), utilizando el espectrómetro de luz ultravioleta-visible marca Perkin Elmer modelo Lambda 2.

Para obtener el valor equivalente al contenido de PC, se determinó el contenido de nitrógeno (N) del forraje con un Analizador 2400 Series II CHNS/O, marca Perkin-Elmer en modo CHN. Posteriormente, el contenido de N fue multiplicado por 6.25 para obtener el porcentaje de proteína total de la muestra (AOAC, 1995). El contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) de las muestras de forraje colectadas se determinó mediante el procedimiento descrito por Van Soest *et al.* (1991).

Análisis estadísticos

El modelo estadístico para los datos de minerales en agua y suelo consideró los efectos de Rancho (R_i) [1, 2, 3, 4 y 5], época del año (E_j) [nortes, secas y lluvias], y la interacción (R^*E_{ij}); para los datos de minerales, PC, FDN y FDA en forrajes, el modelo consideró los efectos de Rancho (R_i) [1, 2, 3, 4 y 5], época del año (E_j) [nortes, secas y lluvias], especie forrajera (S_k) y las interacciones (R^*E_{ij}), (R^*S_{ik}), (E^*S_{jk}); El modelo estadístico para el análisis de suero sanguíneo consideró los efectos de Rancho (R_i) [1, 2, 3, 4 y 5], época del año (E_j) [nortes, secas y lluvias], tipo de animal (T_k) [vacas y crías] y la interacción (R^*E_{ij}), (R^*T_{ik}), (E^*T_{jk}) y ($R^*E^*T_{ijk}$). Se utilizó la prueba de Tukey (Steel et al. 1997) para la comparación de medias de tratamientos. Los datos del análisis mineral del alimento concentrado y sales minerales se utilizaron para determinar el perfil mineral y se compararon con los requerimientos de minerales para ganado bovino.

7.5 Resultados y discusión

Concentración de minerales en el agua

Se encontraron diferencias entre ranchos en las concentraciones de Cu, Ca, Mg y Na ($p \leq 0.001$) y en Fe, Zn, K y P ($p \leq 0.05$) en el agua de bebida. También hubo diferencias ($p \leq 0.001$) entre épocas del año en las

concentraciones de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y P (Cuadro 27). La interacción rancho x época del año tuvo efecto ($p \leq 0.01$) únicamente en las concentraciones de Cu, Zn y P (Figura 6).

Cuadro 27. Concentración mineral en el agua de bebida de bovinos de doble propósito de cinco ranchos ganaderos en tres épocas del año en el sureste de México.

Efecto	Minerales (mg/L)							
	Cu	Fe	Zn	Ca	Mg	Na	K	P
Rancho								
1	0.053 ^{ab}	0.12 ^a	0.49 ^a	15.85 ^{ab}	8.01 ^{ab}	11.15 ^{ab}	4.48 ^{ab}	0.07 ^b
2	0.062 ^a	0.12 ^a	0.51 ^a	16.51 ^a	8.58 ^a	11.54 ^a	4.76 ^a	0.08 ^{ab}
3	0.046 ^b	0.09 ^b	0.44 ^{ab}	15.16 ^{bc}	7.32 ^{bc}	10.12 ^{bc}	4.07 ^{bc}	0.08 ^{ab}
4	0.043 ^b	0.10 ^{ab}	0.33 ^b	14.51 ^c	6.67 ^c	8.58 ^c	3.60 ^c	0.08 ^{ab}
5	0.052 ^{ab}	0.11 ^a	0.53 ^a	15.79 ^{ab}	7.95 ^{ab}	11.52 ^{ab}	4.93 ^a	0.09 ^a
EEM ¹	0.003	0.004	0.029	0.233	0.219	0.289	0.196	0.003
Época del año								
Lluvias	0.02 ^c	0.05 ^c	0.06 ^b	12.09 ^c	3.52 ^c	7.11 ^c	2.01 ^c	0.07 ^b
Nortes	0.04 ^b	0.08 ^b	0.08 ^b	13.72 ^b	5.22 ^b	10.01 ^b	3.86 ^b	0.07 ^b
Secas	0.09 ^a	0.19 ^a	1.26 ^a	12.09 ^a	14.68 ^a	15.03 ^a	7.32 ^a	0.10 ^a
EEM	0.001	0.002	0.012	0.099	0.092	0.122	0.083	0.001
CT⁽¹⁾	0.014	0.044	0.05	57	14.3	55	4.3	0.087
NM⁽²⁾	1.00	0.30	25	1000	1000	800	20	0.70

^{abc}Medias con diferente literal dentro de cada columna muestran diferencias ($P \leq 0.05$); ¹EEM= error estándar de la media; ⁽¹⁾CT= Concentración típica de minerales en el agua (Shirley y Montesinos, 1978); ⁽²⁾NM= Nivel máximo tolerable de cada mineral en el agua de bebida para el ganado (Puls, 1994).

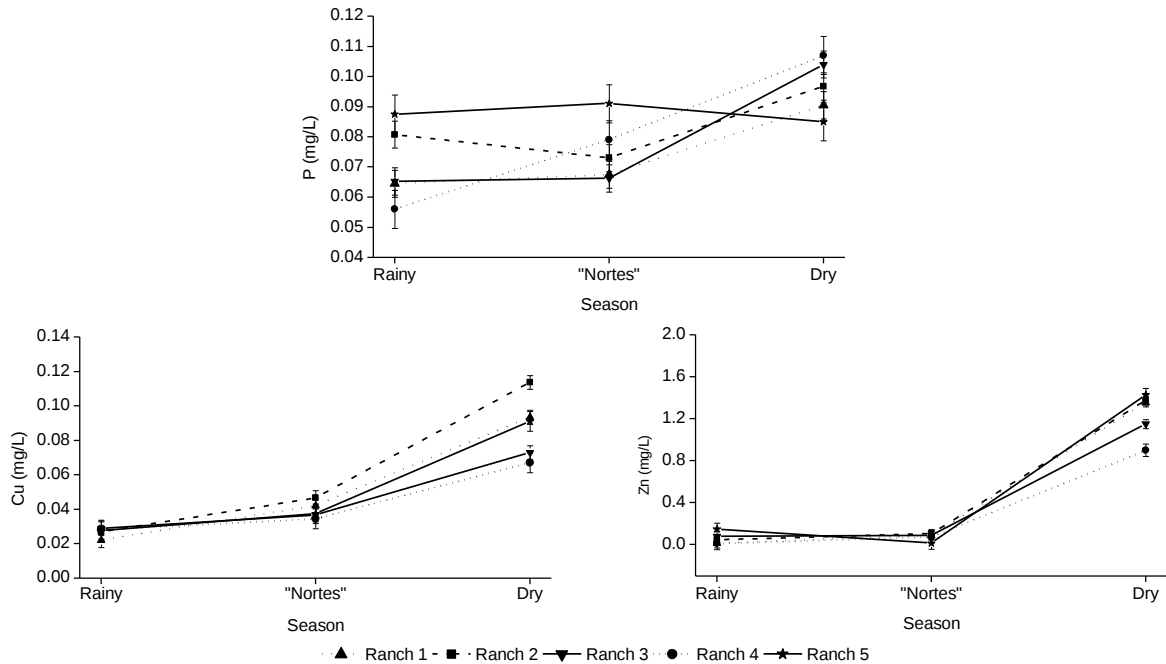


Figura 6. Medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar del contenido de Cu, Zn y P en el agua de bebida de cinco ranchos con bovinos doble propósito durante las épocas de lluvias, nortes y secas del trópico húmedo de México.

La diferencia en la concentración de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y en P entre los ranchos estudiados puede deberse a diferencias en el perfil mineral del agua de bebida según la fuente. La menor concentración

mineral se observó en los ranchos 3 y 4, utilizando la laguna de Catazajá como fuente de agua de bebida de los animales, donde los minerales son diluidos en mayores volúmenes de agua. De este modo, la concentración de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y P en el agua puede relacionarse con el régimen de precipitación pluvial anual, provocando que en la época de lluvias los minerales se diluyan por el aumento en el volumen de agua en lagunas y arroyos, mientras que la concentración mineral se incrementa gradualmente durante las épocas de nortes y secas, cuando la evaporación es mayor y la precipitación menor. En cuanto a las diferencias entre ranchos, Castañeda (2012) reporta diferencias entre ranchos en las concentraciones de minerales en aguas del trópico húmedo veracruzano con concentraciones promedio de Cu, Ca Mg, Na, K y P en 10 ranchos de 0.05, 15.92, 4.97, 109.25, 45.18 y 5.55 mg/L, respectivamente. Ramos (2009) también reporta diferencias entre ranchos en la mayoría de los minerales analizados excepto el Zn. Este autor presenta concentraciones promedio de Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y P de 0.475, 0.02, 44.2, 4.946, 11.15, 2.326, 38.916 mg/L, respectivamente, en aguas del trópico seco del norte de Veracruz.

Resultados similares del contenido mineral del agua de bebida del ganado fueron reportados por Vieyra-Alberto et al. (2013), quienes encontraron diferencias en las concentraciones minerales en el agua entre las unidades de producción analizadas en las épocas húmeda y seca, reportando menores contenidos de Fe, Zn, Ca, Mg, Na y K (0.17 vs 0.27; 0.65 vs 2.04; 5.94 vs 16.24; 2.17 vs 11.08; 11.55 vs 27.69; 3.39 vs 4.23, mg/L) en la época de lluvias en comparación con la época de secas, respectivamente, atribuible a mayor evaporación durante la época seca en la Huasteca Potosina de México.

De acuerdo con Socha et al. (2009) el contenido mineral en el agua puede variar ampliamente a través del territorio donde se realice el muestreo, dentro de una región geográfica específica. En este estudio las concentraciones de Cu, Fe, Ca, Mg y Na en el agua fueron menores a los resultados obtenidos por Castillo et al. (2013) en 39 establos lecheros de California, USA, indicando concentraciones de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y P en el agua de bebida de vacas Holstein del orden de 0.2, 0.2, 0.1, 65.8, 22.2, 60.0, 3.0 y 0.1 mg/L, respectivamente, similares a los reportados por Socha et al. (2009) quienes determinaron el perfil mineral de agua procedente de varios establos lecheros de los Estados Unidos de América ($n = 1,740$ a 4,676), obteniendo concentraciones de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na y K del orden de 0.07, 0.79, 0.12, 65, 24, 46 y 4.0 mg/L, respectivamente.

El efecto de la interacción de rancho x época del año en la concentración de Cu en el agua de bebida de los animales se debió a que durante la época de lluvias la concentración mineral del agua fue menor para el rancho 1 (0.022 ± 0.004 mg/L) comparado con los ranchos 4 y 5 (0.028 ± 0.006 y 0.028 ± 0.006 mg/L); en la época de nortes la concentración de Cu fue mayor en los ranchos 1 y 2 (0.042 ± 0.004 y 0.047 ± 0.004 mg/L) comparado con los ranchos 4 y 5 (0.035 ± 0.006 y 0.038 ± 0.006 mg/L); mientras que, en la época seca del año la concentración de Cu fue menor en los ranchos 3 y 4 (0.073 ± 0.004 y 0.067 ± 0.006 mg/L).

En el caso del Zn, la interacción entre rancho x época del año se debió a que durante la época de lluvias la concentración de este mineral fue mayor en el rancho 5 (0.148 ± 0.06 mg/L), mientras que en el resto de los ranchos las concentraciones de Zn fueron similares; asimismo, durante la época de nortes las concentraciones de Zn en el agua de bebida fueron menores en el rancho 5 (0.015 ± 0.06 mg/L) que en los demás ranchos, sin embargo, en la época seca la concentración de ese mineral en el agua fue menor en el rancho 4 (0.90 ± 0.06 mg/L), y mayor en los ranchos 1, 2 y 5 (1.36 ± 0.04 , 1.37 ± 0.04 , 1.43 ± 0.06 mg/L).

Respecto al contenido de P, el efecto en la interacción rancho x época del año se debió a que en la época de lluvias la concentración de ese mineral fue mayor en el rancho 2 comparado con los demás ranchos ganaderos, mientras que durante la época de nortes la concentración de P en el rancho 5 fue mayor al contenido de P en el agua de bebida de los demás ranchos ganaderos. Sin embargo, durante la época seca, la concentración de P fue más alta en el rancho 4 (0.11 ± 0.006) que en los ranchos 1 y 5 (0.09 ± 0.004 y 0.08 ± 0.006 mg/L). De este modo, la concentración mineral varió en función de la fuente del agua de bebida y de la época del año, y estas diferencias pueden explicarse por variaciones ambientales como el nivel de precipitación pluvial, la evaporación estacional y los volúmenes almacenados en las fuentes de agua.

No obstante las interacciones entre rancho x época y rancho x tipo de animal para Cu, Zn y P, es evidente que en la mayoría de los ranchos ganaderos las concentraciones de minerales en el agua se incrementan en

la época seca, lo cual se explica por mayor evaporación del agua en abrevaderos y lagunas. Las concentraciones de Cu, Fe y Zn en el agua de bebida de los animales fueron mayores que las concentraciones típicas sugeridas por Shirley y Montesinos (1978), pero menores que los niveles máximos tolerables propuestos por Puls (1994). Las concentraciones de Ca, Mg, Na y P fueron menores a las concentraciones típicas, sin embargo. McDowell y Arthington (2005) reportan concentraciones similares de Ca, Mg, Na y P y argumentan que el aporte de minerales del agua en regiones tropicales es bajo. Por otra parte, Suttle (2010) menciona la dificultad de cuantificar el contenido mineral en el agua de bebida que se proporciona al ganado por la fuerte variación de minerales de las fuentes de agua. Considerando esta situación, Murphy et al. (1983) establecen que el aporte mineral en el agua de bebida es escaso para cubrir una nutrición mineral adecuada del ganado debido a que los bovinos consumen agua entre el 8 y 12% de su peso corporal. Además, las concentraciones de minerales en el agua de bebida del presente estudio no representan un riesgo de toxicidad para los animales que la consumen. Sin embargo, el agua de bebida puede contribuir con los requerimientos minerales del ganado

Concentración de minerales en suelo

Los suelos de los ranchos ganaderos seleccionados tuvieron concentraciones diferentes ($p \leq 0.01$) de Cu, Fe, Zn, Ca y P. También hubo diferencias ($p \leq 0.0001$) entre las épocas del año en las concentraciones de todos los minerales estudiados (Cuadro 28). Asimismo, hubo efecto ($p \leq 0.01$) de la interacción rancho x época del año en el contenido de Fe, Zn Mg y P en el suelo (Figura 7).

Cuadro 28. Concentración mineral en suelos de cinco ranchos ganaderos de doble propósito durante tres épocas del año en el trópico húmedo de México.

Efecto	Minerales (mg/kg)							
	Cu	Fe	Zn	Ca	Mg	Na	K	P
Rancho								
1	1.80 ^{bc}	57.59 ^b	1.99 ^a	808.58 ^a	373.07 ^a	18.72 ^a	166.92 ^a	15.21 ^{bc}
2	1.47 ^c	65.28 ^a	1.43 ^b	798.32 ^{ab}	365.97 ^a	20.11 ^a	160.27 ^a	17.87 ^a
3	2.10 ^{abc}	57.59 ^b	1.91 ^a	758.63 ^{ab}	380.78 ^a	19.25 ^a	162.47 ^a	16.22 ^{abc}
4	2.47 ^a	57.38 ^b	2.00 ^a	762.23 ^{ab}	401.62 ^a	21.07 ^a	162.17 ^a	15.01 ^c
5	2.11 ^{ab}	59.12 ^b	1.88 ^a	743.02 ^b	371.69 ^a	22.24 ^a	162.94 ^a	17.54 ^{ab}
EEM	0.07	0.41	0.03	6.49	5.95	0.51	2.34	0.27
Época del año								
Lluvias	1.18 ^c	48.84 ^c	1.52 ^b	646.43 ^c	276.47 ^c	10.12 ^c	190.56 ^a	10.76 ^c
Nortes	1.73 ^b	52.23 ^b	1.43 ^b	741.09 ^b	332.42 ^b	19.09 ^b	160.78 ^b	14.37 ^b
Seca	3.07 ^a	76.81 ^a	2.58 ^a	934.96 ^a	527.14 ^a	31.63 ^a	136.95 ^c	23.98 ^a
EEM	0.07	0.41	0.03	6.49	5.95	0.51	2.34	0.27
NM⁽¹⁾	3.0	4.5	2.0	140.0	30.0	23.0	60.0	25.0

^{abc}Medias con diferente literal dentro de cada columna muestran diferencias ($P \leq 0.05$); ⁽¹⁾NM= Concentraciones minerales mínimas para el crecimiento de las plantas (Bowen, 1966); EEM= Error estándar de las medias de tratamiento.

Las diferencias en las concentraciones de Cu, Fe y Zn en el suelo de los diferentes ranchos estudiados se debieron principalmente a que el rancho 2 presentó niveles bajos de Cu y Zn y altos de Fe, comparado con los otros ranchos. Las concentraciones de Ca en suelo fueron menores en el rancho 5 que en el rancho 1. En el caso del P, las diferencias se debieron a menores concentraciones en los suelos del rancho 4 comparado con las observadas en los ranchos 2 y 5. Las diferencias entre épocas del año en las concentraciones de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na y P se deben a que hubo mayor concentración de estos minerales durante la época seca, en comparación con las épocas de lluvias y nortes. Sin embargo, la concentración de K en el suelo fue mayor en la época de lluvias. El efecto de la interacción rancho x época del año indica que la concentración de Fe en el suelo del rancho 1 (46.57 ± 1.59 mg/kg) fue menor durante la época de lluvias que durante la época de nortes, mientras que en la época seca la concentración de Fe en el suelo fue mayor en el rancho 2 (92.44 ± 1.59 mg/kg) comparado con los otros ranchos. Para el Zn en suelo, la interacción rancho x época del año se debe a que en la época de lluvias la concentración de este mineral fue mayor en el rancho 4 (1.73 ± 0.12 mg/kg) que en el suelo del rancho 2 (1.35 ± 0.12 mg/kg).

Durante la época de nortes las concentraciones de Zn fueron similares en los suelos de todos los ranchos. Asimismo, durante la época de secas la concentración de Zn en el suelo fue más baja en el rancho 2 (1.71 ± 0.12 mg/kg) comparado con el contenido de Zn en los suelos de los demás ranchos. Respecto a Mg, la interacción rancho x época del año se debió a que la concentración de este elemento mineral fue mayor en el rancho 4 (330.84 ± 23.04 mg/kg) que en el rancho 3 (245 ± 23.04 mg/kg) durante la época de lluvias, y fue mayor en el rancho 3 (382.90 ± 23.04 mg/kg) en comparación con el contenido de Mg en los suelos de los ranchos 1, 2 y 5 (304 ± 23.04 , 311 ± 23.04 y 301 ± 23.04 mg/kg) durante la época de nortes. La interacción rancho x época del año para la concentración de P en el suelo se debió a que durante la época de lluvias el rancho 2 (13.75 ± 1.06 mg/kg) tuvo mayor contenido de P en el suelo que los demás ranchos ganaderos, mientras que en la época de nortes, el rancho 1 tuvo menor concentración de P en el suelo (15.21 ± 1.06 mg/kg) comparado con el contenido de P del suelo de los ranchos 1, 2, 3 y 4 (21.09 ± 1.06 , 26.25 ± 1.06 , 22.78 ± 1.06 y 21.77 ± 1.06 mg/kg), respectivamente.

La época del año y la interacción rancho x época del año, mostraron un incremento en la concentración mineral del suelo durante la época seca del año. Esto se debe a que durante la época de lluvias los minerales se diluyen y movilizan a capas más profundas del suelo, mientras que en las épocas de nortes y secas esos minerales regresan a capas más superficiales del suelo a través del proceso de evaporación. El aumento gradual de la concentración mineral del suelo durante la época seca coincide con la disminución gradual de la precipitación pluvial y el aumento de la evaporación del agua contenida en el suelo. Durante la época de lluvias hay períodos de saturación de agua que pueden conducir a una baja aireación, y una disminución de oxígeno en el suelo contribuye a reducir la tasa de mineralización de la materia orgánica debido a que los organismos del suelo se hacen inactivos o incluso mueren (Linn y Doran, 1984) afectándose la conversión de las formas insolubles a solubles de los minerales del suelo así como la absorción de nutrientes por las raíces de las plantas y la translocación de nutrientes de la raíz a los rebrotes (Whitehead, 2000).

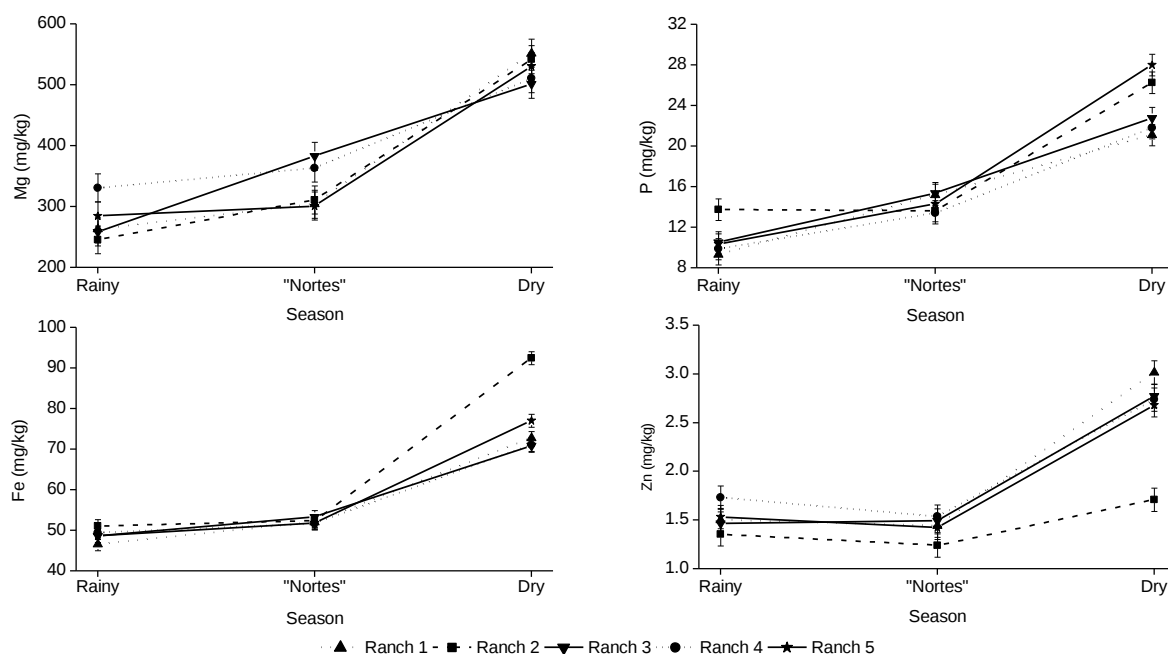


Figura 7. Medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar de las concentraciones de Fe, Zn, Mg y P en suelos de cinco ranchos ganaderos de doble propósito durante tres épocas del año en el trópico húmedo de México.

Los niveles altos de Fe y bajos de Cu y Zn sugieren un posible efecto antagónico entre estos minerales, lo cual puede afectar su disponibilidad para el crecimiento de los pastos. Los suelos rojos del rancho 2 indican alto contenido de Fe, constituyendo de manera indirecta la mayor fuente de Fe en la dieta diaria de los animales (Weiss et al. 2010). De acuerdo con las recomendaciones propuestas por Bowen (1966), los

suelos de los cinco ranchos estudiados superan en mucho el requerimiento mínimo de Fe para el crecimiento de las plantas, lo cual puede interferir la disponibilidad de Cu, creando deficiencias en los animales que consumen los forrajes que crecen en estos suelos (Whitehead, 2000).

En México se ha reportado amplia variación del contenido mineral de los suelos (Domínguez-Vara y Huerta-Bravo, 2008; Cabrera et al. 2009), así como en otras partes del mundo (Pereira et al. 1997; Sharma et al. 2003; Ndebele et al. 2005), reportándose concentraciones bajas de Cu y Zn y altas de Fe, lo cual se relaciona positivamente con la composición mineral del forraje que comen los animales (Whitehead, 2000). Del total de muestras de suelo provenientes de los ranchos estudiados, el 88, 72, 56 y 85 %, tuvieron concentraciones bajas de Cu, Zn, Na y P, respectivamente, comparado con los requerimientos mínimos para el crecimiento de las plantas (Bowen, 1966). La disponibilidad de Cu en la nutrición de los pastos pudo ser afectada por el pH del suelo, ya que en suelos ácidos cerca de 50% del Cu no puede ser extraído (Miller et al. 1981) debido a que se incrementa la concentración de aniones cúpricos, los cuales son menos disponibles para las plantas. Por otro lado, el pH ácido del suelo incrementa la disponibilidad del Fe en su forma reducida (Fe^{2+}), el cual es más disponible para las plantas (Whitehead, 2000).

Concentración de minerales en alimento concentrado y pre-mezcla mineral

En el Cuadro 29 se presentan las concentraciones de minerales del alimento comercial y sales minerales que se utilizan para suplementar el ganado en los ranchos. Solamente los ranchos 2 y 3 proporcionaron ambos productos a las vacas en producción durante la ordeña.

El alimento concentrado y la pre-mezcla mineral ofrecidos a los animales presentaron concentraciones de Cu, Zn y P por abajo de los requerimientos mínimos para ganado bovino (McDowell y Arthington, 2005). Aún considerando el consumo diario de 100 g/animal del suplemento mineral ofrecido, tal como lo recomienda el distribuidor, esa cantidad no cubre los requerimientos mínimos del ganado para los minerales mencionados. Las deficiencias de esos minerales son mayores cuando el productor proporciona 50 g/animal/día de la pre-mezcla mineral para disminuir costos de producción. Dado que el contenido de Cu y P en los forrajes de todos los ranchos fue deficiente en todas las épocas del año el suplemento mineral debe incluir niveles adecuados de Cu, Zn y P con base en los requerimientos de los animales, y debe proporcionarse todo el año. Por otro lado, el contenido alto de Fe, Ca, Mg y K en los forrajes sugiere que estos minerales no deben suplementarse.

Cuadro 29. Concentraciones minerales del suplemento concentrado y pre-mezcla mineral proporcionados al ganado bovino de doble propósito en algunos ranchos del trópico húmedo de México.

Concepto	Minerales							
	Cu	Fe	Zn	Ca	Mg	Na	K	P
	-----mg/kg-----			-----%-----				
Suplemento concentrado	5.5	276	22.65	0.25	0.32	0.09	2.3	0.19
	-----% del requerimiento mínimo cubierto por kg de suplemento-----							
	55	920	76	83	160	150	288	76
Pre-mezcla mineral	625	5135	2941	18.20	5.25	17.80	3.8	8.45
	-----% del requerimiento mínimo cubierto por cada 100 gr de mezcla-----							
	58	158	91	56	24	275	4	31
NM^(a)	10	30	30	0.30	0.20	0.06	0.8	0.25
MT^(b)	40	500	500	1.50	0.60	1.60	3	0.7

^(a)NM= Nivel mínimo de cada mineral con base en los requerimientos del ganado bovino (McDowell y Arthington, 2005); ^(b)MT= Nivel máximo tolerables de cada mineral en la dieta diaria de bovinos (NRC, 2005).

Concentración de minerales en forrajes

Hubo diferencias en las concentraciones de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg y Na ($p \leq 0.001$) y en la concentración de P ($p \leq 0.005$) del forraje entre ranchos. También hubo diferencias estadísticas entre épocas del año ($p \leq 0.001$)

en todos los minerales analizados en los forrajes. Las concentraciones de Cu, Mg y Na fueron diferentes ($p \leq 0.05$) entre las especies forrajeras predominantes en las praderas (Cuadro 30). La interacción rancho x época del año afectó las concentraciones de Cu y Fe ($p \leq 0.05$) y de Zn, Ca, Mg, Na y P ($p \leq 0.0001$; Figura 8).

Cuadro 30. Concentraciones de minerales en el forraje de cinco ranchos ganaderos de doble propósito durante tres épocas del año en el trópico húmedo de México

Efecto	Minerales							
	Cu	Fe	Zn	Ca	Mg	Na	K	P
Rancho	-----mg/kg-----			-----%-----				
1	3.12 ^d	279.51 ^b	34.16 ^{ab}	0.39 ^a	0.41 ^a	0.07 ^b	1.84 ^{ab}	0.19 ^b
2	4.54 ^c	297.21 ^a	39.72 ^d	0.35 ^b	0.34 ^b	0.05 ^c	1.76 ^b	0.21 ^a
3	6.05 ^{ab}	267.42 ^b	33.14 ^{bc}	0.33 ^b	0.33 ^b	0.08 ^b	1.71 ^{ab}	0.21 ^a
4	4.97 ^{bc}	269.14 ^b	32.68 ^c	0.33 ^b	0.30 ^{bc}	0.08 ^b	1.74 ^a	0.21 ^a
5	6.24 ^a	274.68 ^b	34.90 ^a	0.33 ^b	0.27 ^c	0.11 ^a	1.85 ^a	0.21 ^{ab}
EEM	0.31	3.54	0.35	0.006	0.012	0.003	0.045	0.004
Época								
Lluvias	4.18 ^b	243.61 ^c	26.36 ^c	0.21 ^c	0.26 ^b	0.05 ^c	2.16 ^a	0.24 ^a
Nortes	4.11 ^b	270.13 ^b	34.32 ^b	0.35 ^b	0.26 ^b	0.06 ^b	2.07 ^a	0.24 ^a
Secas	6.40 ^a	318.58 ^a	39.46 ^a	0.49 ^a	0.47 ^a	0.13 ^a	1.17 ^b	0.13 ^b
EEM*	0.13	1.49	0.15	0.002	0.005	0.001	0.019	0.002
Especie forrajera								
<i>B. brizantha</i>	6.52 ^a	278.13 ^a	34.68 ^a	0.34 ^a	0.27 ^b	0.12 ^a	1.85 ^a	0.20 ^a
<i>B. humidicola</i>	3.95 ^c	288.07 ^a	32.62 ^a	0.37 ^a	0.27 ^b	0.06 ^b	1.80 ^a	0.20 ^a
<i>B. híbrida</i>	5.96 ^{ab}	271.14 ^a	35.12 ^a	0.33 ^a	0.38 ^a	0.11 ^a	1.84 ^a	0.22 ^a
<i>P. notatum</i>	4.63 ^{bc}	272.21 ^a	32.88 ^a	0.35 ^a	0.34 ^{ab}	0.07 ^b	1.77 ^a	0.21 ^a
EEM	0.43	7.81	1.29	0.03	0.03	0.01	0.11	0.01
NM⁽¹⁾	10	30	30	0.3	0.2	0.06	0.8	0.25
MT⁽²⁾	40	500	500	1.5	0.6	1.6	3	0.7

^{abc}Medias con diferente literal dentro de cada columna muestran diferencias ($p \leq 0.05$); *EEM= error estándar de la media; ⁽¹⁾NM= nivel mínimo de cada mineral con base en los requerimientos del ganado bovino (McDowell y Arthington, 2005); ⁽²⁾MT= nivel máximo tolerable de cada mineral en la dieta diaria de bovinos (NRC, 2005).

Durante la época de lluvias, la concentración de Cu en el forraje fue mayor en el rancho 5 (6.26 ± 0.42 mg/kg) en comparación con los otros ranchos; sin embargo, en la época de nortes, el contenido de Cu en los pastos fue mayor en el rancho 3 (6.03 ± 0.60 mg/kg) y menor en el rancho 1 (2.50 ± 0.48); mientras durante la época seca, las concentraciones de Cu en el forraje fueron mayores en los ranchos 3 y 5 (8.02 ± 0.60 y 7.75 ± 0.60 mg/kg) y menores en los ranchos 1 y 2 (4.34 ± 0.60 y 6.69 ± 0.60 mg/kg), respectivamente. En cuanto al contenido de Fe en el forraje durante la época de lluvias, fue mayor en el rancho 2 (278.85 ± 6.85 mg/kg), aunque durante la época de nortes, la concentración de Fe fue mayor en las pasturas del rancho 2 (289.38 ± 6.85 mg/kg) mientras que en la época seca el contenido de Fe en el forraje fue menor en el rancho 3 (302.93 ± 6.85 mg/kg). Respecto al contenido de Zn en los forrajes, el efecto de la interacción rancho x época del año se debe a que la menor concentración de Zn se tuvo durante la época de lluvias en el rancho 2 (20.06 ± 0.68 mg/kg), mientras en la época de nortes las concentraciones fueron mayores en los ranchos 1 y 5 (35.61 ± 0.48 y 35.20 ± 0.48 mg/kg) mientras que durante la época seca, la concentración más baja de Zn se tuvo en el rancho 2 (36.8 mg/kg). Con relación al contenido de Ca en las pasturas, durante la época de lluvias fue mayor en el rancho 1 (0.33 ± 0.01 mg/kg) y menores en los ranchos 3, 4 y 5 (0.16 ± 0.01 , 0.15 ± 0.01 y 0.15 ± 0.01 %), mientras que durante las épocas de nortes y secas, el contenido de Ca en los forrajes fue similar en todos los ranchos. Con relación al Mg en los forrajes, se observó mayor concentración en el rancho 1 (0.30 ± 0.02 , 0.30 ± 0.02 %) y similares en los demás ranchos; durante la época de nortes, las mayores concentraciones de Mg correspondieron a los ranchos 1 y 4 (0.30 ± 0.02 y 0.33 ± 0.02 %); aunque durante la época seca, las mayores concentraciones de Mg se presentaron en los ranchos 1 y 2 (0.61 ± 0.02 y 0.53 ± 0.02), y el menor contenido en el rancho 5 (0.36 ± 0.02 %). Para el Na, durante la época de lluvias la mayor concentración en el forraje se observó en el rancho 5

(0.090 ± 0.005 %) y la menor en el rancho 2 (0.019 ± 0.01 %); en el rancho 5 (0.19 ± 0.005 %) la concentración de Na en el pasto fue alta durante la época seca y durante las lluvias el rancho 2 (0.09 ± 0.01 %) presentó las concentraciones más bajas. Para el P, durante la época de lluvias se obtuvieron concentraciones mayores en las pasturas de los ranchos 2 y 4 (0.26 ± 0.01 y 0.27 ± 0.01 %), pero menores en el rancho 1 (0.21 ± 0.01 %); no obstante, el contenido de P fue alto en el forraje del rancho 3 (0.25 ± 0.01 %) durante la época de nortes, mientras que en los demás ranchos el P fue similar; mientras que para la época seca el contenido de P en los forrajes fue similar en todos los ranchos.

Respecto a la diferencia de minerales entre las especies forrajeras, el *B. brizantha* tuvo mayores concentraciones de Cu en el orden de 9, 29 y 39%, más que *B. hibrida*, *P. notatum* y *B. humidicola*, respectivamente. Mientras el *B. hibrida* tiene mayor concentración de Mg en el orden de 10, 27 y 27% más que *P. notatum*, *B. brizantha* y *B. humidicola*, respectivamente. Respecto al Na, el *B. brizantha* tuvo mayores concentraciones de Cu en el orden de 4, 37 y 48%, más que *B. hibrida*, *P. notatum* y *B. humidicola*, respectivamente.

Las diferencias en el contenido mineral de los forrajes entre los ranchos y las épocas del año son congruentes con lo reportado por otros autores. Concentraciones bajas de Cu, Fe, Zn, Ca Mg y Na y altas de K y P en los forrajes durante la época de lluvias fueron reportadas previamente por Muñoz-González et al. (2014). Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008) reportaron concentraciones bajas de Fe en forrajes durante la época de lluvias (258 mg/kg) y altas durante la época de secas (761 mg/kg). Por otro lado, Vieyra-Alberto et al. (2013) reportaron contenidos de Fe en el forraje de 114 y 149 mg/kg para las épocas de lluvias y secas, respectivamente, en una región del trópico seco en México. Estos mismos autores obtuvieron concentraciones menores de K y P en el forraje cosechado durante la época seca comparado con la época de lluvias (0.13 y 0.06 vs 0.17 y 0.07 mg/kg), respectivamente.

En México varios estudios han reportado efectos de la interacción entre la unidad de producción y la época del año en el perfil mineral de los forrajes. Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008) reportaron diferencias en el contenido de Cu, Zn, Mg, Na y P en forrajes de clima templado; Morales et al. (2007), analizando Fe, Zn y P en forrajes de clima templado, observaron efecto de rancho x época del año; y similarmente Muñoz-González et al. (2014) en la determinación de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y P en forrajes del trópico húmedo mexicano.

De acuerdo con los requerimientos mínimos para rumiantes sugerido por McDowell y Arthington (2005), en ninguno de los ranchos evaluados se tuvieron niveles mínimos de Cu y P en el forraje. El 98, 29.5, 47.6 y 81% de las muestras de forrajes tuvieron valores menores que el nivel mínimo de Cu, Zn, Na y P, respectivamente. Se tuvieron niveles altos de Fe en las pasturas, sin llegar a los máximos tolerables. Esto pudo deberse a cantidades altas de Fe en el suelo, lo que permitió que las plantas forrajeras presentes acumularan más Fe que el requerido por los bovinos (Kabata-Pendias, 2011). Weiss et al. (2010) menciona que más de 250 mg/kg de Fe en la dieta de bovinos incrementa el estrés oxidativo y disminuye el status del Cu, afectando la salud, la producción, el consumo y la digestión de la fibra. Por otro lado, Genther y Hansen (2014) concluyen que las dietas altas en Fe y Mo antagonizan con Cu disminuyendo las reservas de este mineral en el hígado. El antagonismo entre minerales como el Cu y Fe, es un factor que limita la disponibilidad y promueve el exceso para una potencial toxicidad (Suttle, 2010).

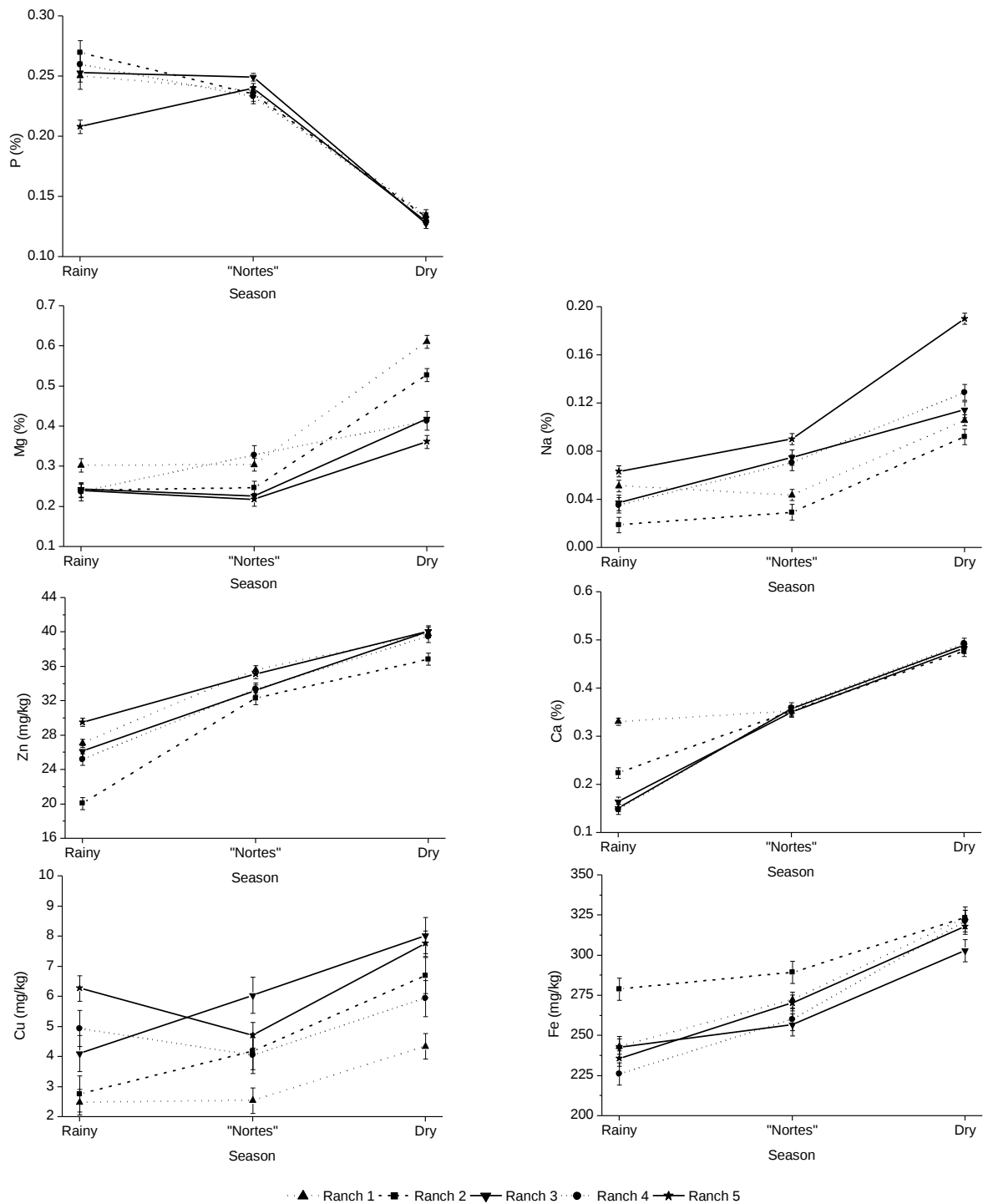


Figura 8. Medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar de las concentraciones de Fe, Zn, Mg y P en los forrajes de cinco ranchos ganaderos de doble propósito durante tres épocas del año en el trópico húmedo de México.

Contenido de proteína y fibras en forrajes

Se encontraron diferencias ($p \leq 0.05$) en los contenidos de PC, FDN y FDA entre ranchos, épocas del año y especie forrajera (Cuadro 31).

Cuadro 31. Contenido de proteína y fibras en cinco ranchos en tres épocas del año de cuatro especies forrajeras en el sureste de México.

Concepto	Componente		
	PC	FDN	FDA
Rancho	-----% de la MS-----		
1	10.24 ^b	76.65 ^{ab}	29.95 ^b
2	10.84 ^{ab}	74.20 ^b	28.66 ^b
3	10.47 ^b	78.45 ^a	30.08 ^b
4	10.43 ^b	74.47 ^b	31.22 ^{ab}
5	11.32 ^a	66.71 ^c	35.68 ^a
EEM	0.16	0.98	1.15
Época del año			
Lluvias	8.75 ^c	77.03 ^a	29.03 ^b
Nortes	11.10 ^b	73.65 ^b	31.63 ^{ab}
Secas	12.22 ^a	71.80 ^b	32.64 ^a
EEM	0.11	0.76	0.89
Especie			
<i>B. brizantha</i>	11.51 ^a	66.21 ^b	35.64 ^a
<i>B. humidicola</i>	10.56 ^b	75.55 ^a	29.01 ^b
<i>B. híbrida</i>	11.13 ^a	67.22 ^b	35.73 ^a
<i>P. notatum</i>	10.37 ^b	76.26 ^a	30.42 ^b
EEM	0.15	1.11	1.30

^{abc}Medias con diferente literal dentro de cada columna muestran diferencias ($p \leq 0.05$); EEM= error estándar de la media.

El rancho 5 tuvo de 17, 7, 13 y 14% más PC en su forrajes que los ranchos 1, 2, 3 y 4, respectivamente. En relación con los contenidos de FDN el rancho 3 tuvo 2, 6, 5 y 18% más FDN que los ranchos 1, 2, 4 y 5, respectivamente. Para los contenidos de FDA el rancho 5 tuvo 19, 24, 19 y 14% más FDA que los ranchos 1, 2, 3 y 4, respectivamente. Las diferencias en los contenidos de PC entre ranchos puede deberse a diferencias en el manejo de las praderas. Por ejemplo, el mayor contenido de PC la tuvo el rancho 2, donde fertilizan las praderas de manera periódica. Mientras el menor contenido de PC en el rancho 1 puede deberse a la nula fertilización de las praderas, ya que no se tiene registro de fertilizaciones anteriores. Se ha reportado que la concentración de PC en el forraje está fuertemente relacionado con el N disponible en el suelo (Collins, 1991; Buxton et al., 1996).

En la época seca los forrajes tuvieron 10 y 40% más PC que en las épocas de nortes y lluvias, respectivamente. La época de lluvias tuvo 5 y 7% más FDN que la época de nortes y secas, respectivamente. Mientras que la época seca tuvo 3 y 12% más FDA que la época de nortes y lluvias, respectivamente. Los mayores contenidos de PC y FDA en la época de secas, así como los mayores contenidos de FDN en la época de lluvias de este estudio, coincide con lo encontrado por Arteaga (2014) quien reporta 11.05, 14.63 y 14.35% de PC; 63.39, 62.45 y 59.77% de FDN; 34.26, 32.44 y 32.50% de FDA en la época de lluvias, nortes y secas, respectivamente, en el trópico subhúmedo de Puebla. Por lo anterior, se infiere que la calidad del forraje es menor en la época de lluvias, debido al aumento de tallos y pared celular, lo que afecta la digestibilidad y la PC de los forrajes (Jarillo-Rodríguez et al. 2011; Jensen, 2003; Minson, 1992). Por otro lado, se han reportado incrementos en el contenido de PC en Maíz (*Zea mays* L.) (Crasta y Cox, 1996), alfalfa (*Medicago sativa* L.) (Halim et al., 1990; Deetz et al., 1996) pasto orchard (*Dactylis glomerata* L.) y raigrás perenne (*Lolium perenne* L.) (Jensen, 2003), cuando se expusieron a estrés hídrico. Lorenzo et al. (2012) mencionan que en el período de lluvia se produce el proceso de dilución, en el cual la relación PC con otros componentes de la MS disminuye, por el

crecimiento alcanzado por el pasto, favorecido por las condiciones climáticas que prevalecen en este período. Lo anterior explica los mayores contenidos de PC en la época seca.

Respecto a las especies forrajeras predominantes en las praderas, el *B. Brizantha* tuvo 9, 3 y 11% más PC que *B. humidicola*, *B. híbrida* y *P. notatum*, respectivamente, mientras el *P. notatum* tuvo 15, 1 y 13% más FDN que *B. Brizantha*, *B. humidicola* y *B. híbrida*, respectivamente. Respecto a FDA, *B. híbrida* tuvo 0.3, 17 y 23% más FDA que *B. Brizantha*, *P. notatum* y *B. humidicola*.

Los contenidos de PC de *P. notatum* se encuentran en el rango mencionado por Muchovej y Mullahey (1997) quienes reportan contenidos de PC en un rango de 9.80 a 11.0% en *P. notatum* cv. Pensacola. Mientras Martin (1998) para el genotipo *Brizantha spp.* reporta un rango de 4 a 14.9% de PC. Respecto a FDN y FDA, Jarillo-Rodríguez et al. (2011) reportan contenidos de PC para *Axonopus spp.* y *Paspalum spp.* de 8.2-15.25%, FDN de 61.8-70.8% y de FDA de 32.1-43.8% en el trópico mexicano, mientras Ortega-Gómez et al. (2011) reportan contenidos de PC de 7.6%, FDN de 73 y FDA de 42.8% para *Brachiarias spp.* De Vargas et al. (2013) reportan contenidos de PC de 10.3-13.0%, FDN de 64.6-66.4% y FDA de 30.4-33.7% para *B. híbrida*. De acuerdo con estos resultados, *B. brizantha* y *B. híbrida* CIAT 36061 como pastos dominantes en la pradera, puede considerarse como los de mayor calidad, con respecto a las otras especies, debido a su mayor contenido de PC y menor contenido de FDN, contrario al *P. notatum* que presentó menor PC y mayor FDN, comparado con el resto de los forrajes. Según Taiz y Zeiger (2002) y Venuto et al. (2003), las diferencias entre hábitos de crecimiento, morfología y metabolismo carbonado determinan, entre otros factores, la variabilidad en el contenido de proteína de los pastos. Asimismo, el contenido de PC de las gramíneas puede variar entre 3% en una gramínea tropical muy madura hasta más de 30% en una pastura muy tierna y fertilizada (Church, 1984). La proteína cruda es uno de los componentes más variable en las pasturas, los factores que inciden sobre el valor nutritivo modificarán notoriamente el contenido de proteína (Jarrige et al., 1995).

Tanto los ranchos, como las épocas y las especies forrajeras con menor contenido de PC también presentan mayor contenido de FDN y menor contenidos de FDA, lo que indica en términos generales que el contenido de pared celular está inversamente relacionado con el contenido de proteína (Church, 1984).

Concentración de minerales en suero sanguíneo

Se encontraron diferencias ($p \leq 0.001$) entre ranchos y entre épocas del año ($p \leq 0.001$) en las concentraciones de todos los minerales analizados en el suero sanguíneo de los bovinos. También hubo diferencias ($p \leq 0.001$) por efecto de tipo animal en las concentraciones séricas de Fe, Na y P (Cuadro 32). Asimismo, hubo efecto ($p \leq 0.001$) de rancho x época del año en las concentraciones séricas de Cu, Fe, Zn, Ca, Na, K y P (Figura 9); de la interacción rancho x tipo de animal en las concentraciones de Na y P ($p \leq 0.01$; Figura 10) y de la interacción época del año x tipo de animal en las concentraciones de Zn y Na ($p \leq 0.01$; Figura 11).

El estatus mineral en suero sanguíneo de los animales estuvo mediado por la disponibilidad de cada elemento mineral en el agua y en el forraje y por diferencias en la absorción y movilización de los minerales por los pastos a través de las épocas del año (Whitehead, 2000), así como por la escasa suplementación mineral. Además, Kumaresan et al. (2010) reportaron fuertes variaciones en los contenidos de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na y K en suero sanguíneo de vacas en diferentes áreas de muestreo. Debido a que en tres de los cinco ranchos estudiados se tiene solo el aporte mineral proveniente del forraje y el agua de bebida, es congruente que los animales de esos ranchos presenten mayores deficiencias séricas de Cu, Zn y Na.

En condiciones tropicales los animales disponen de mayor cantidad de forraje durante la época de lluvias, por lo que, el contenido de Cu, Fe, Zn, Ca, K y P en suero sanguíneo se incrementa notablemente. Ocurre una reducción en las concentraciones séricas de Cu, Fe, Zn y Na, durante la época de nortes y secas, que se explica por la disminución de la tasa de crecimiento del forraje y por menor consumo de minerales. La menor tasa de crecimiento de las pasturas durante la época de nortes se explica por reducción en la incidencia de luz solar y por la disminución de la temperatura ambiental. Por otro lado, la menor disponibilidad de forraje en época de secas resulta en la disminución de minerales consumidos. Las

diferencias en el contenido sérico de Cu entre las épocas del año coinciden con los resultados obtenidos por Ogowang (1988) y Sevastyanova (1973) quienes reportaron concentraciones séricas de Cu altas de Cu durante el verano y bajas durante el invierno.

Cuadro 32. Concentración mineral en suero sanguíneo de bovinos doble propósito en diferentes épocas en el sureste de México.

Efecto	Minerales (mg/L)							
	Cu	Fe	Zn	Ca	Mg	Na	K	P
Rancho								
1	0.48 ^c	2.27 ^c	0.46 ^c	81.13 ^c	40.99 ^a	3080 ^c	171.48 ^b	67.46 ^c
2	0.56 ^b	2.44 ^b	0.47 ^c	98.61 ^a	39.12 ^b	3220 ^{bc}	173.60 ^b	69.37 ^{bc}
3	0.48 ^c	2.94 ^a	0.56 ^b	93.13 ^b	39.85 ^{ab}	3337 ^b	183.52 ^a	75.65 ^{ab}
4	0.59 ^a	2.24 ^c	0.60 ^a	93.82 ^b	38.25 ^b	3584 ^a	164.07 ^c	77.21 ^a
5	0.55 ^b	2.20 ^c	0.63 ^a	92.24 ^b	39.44 ^{ab}	3692 ^a	163.53 ^c	71.51 ^{abc}
EEM	0.001	0.004	0.001	0.15	0.06	6.53	0.22	0.26
Época								
Lluvias	0.69 ^x	2.97 ^x	0.79 ^x	107.47 ^y	36.46 ^z	3082 ^a	245.61 ^x	77.64 ^b
Nortes	0.43 ^z	2.52 ^y	0.42 ^y	122.56 ^x	43.02 ^x	3312 ^b	137.34 ^y	51.51 ^c
Seca	0.46 ^y	1.74 ^z	0.42 ^y	43.14 ^z	39.21 ^y	3768 ^c	128.04 ^z	88.06 ^a
EEM	0.001	0.002	0.001	0.09	0.03	3.91	0.13	0.15
Tipo de Animal								
Vacas	0.52 ^a	2.59 ^a	0.55 ^a	91.55 ^a	39.70 ^a	3260 ^b	170.77 ^a	63.90 ^b
Crías	0.53 ^a	2.26 ^b	0.54 ^a	91.46 ^a	39.39 ^a	3505 ^a	171.52 ^a	80.77 ^a
EEM	0.003	0.012	0.005	0.52	0.19	22.09	0.73	0.87
Rango	0.8- 1.15	1.3-2.5	0.8 -1.4	80-110	17-30	3105-	160-	40-60 ^v
adecuado⁽¹⁾						3405	200	60-90 ^w

abcd, xy Medias en una columna con misma literal son similares ($p>0.05$)

⁽¹⁾Puls (1994); ^vAnimales adultos, ^wAnimales jóvenes;

Las diferencias en el contenido sérico de Fe, Na y P entre las vacas y las crías se deben a que los animales adultos dependen de mayores cantidades y fuentes de minerales en su alimentación (agua, forrajes, suplementos), mientras que las crías dependen casi exclusivamente de los minerales proporcionados por la leche que consumen. De esta forma, la mayor concentración sérica de Fe en las vacas, en comparación con las crías, puede estar relacionado con el aporte de Fe del suelo a través del forraje. Asif (1996) encontró diferencias en las concentraciones de Ca, K y Mg en el suero sanguíneo de vacas en distinto estado fisiológico; aunque en otro estudio el mismo autor menciona que el contenido sérico de Na fue similar tanto en las crías como en las vacas preñadas y en lactancia. Por otro lado, la concentración mayor de P en el suero sanguíneo de las crías puede deberse al consumo de leche ya que ésta es rica en fósforo (NRC, 2001).

El efecto de la interacción rancho x época del año en las concentraciones de Cu, Fe, Zn, Ca, Na, K y P a nivel sanguíneo, se debió a las diferencias en el estatus mineral de los animales entre los ranchos para cada época del año. En el periodo de lluvias las concentraciones de esos minerales fueron mayores en el rancho 4 (0.81 ± 0.011 mg/L) y menores en el rancho 3 (0.61 ± 0.01 mg/L); fueron mayores durante la época de nortes en el rancho 2 (0.51 ± 0.01 mg/L) y menores en el rancho 1 (0.36 ± 0.01 mg/L); mientras que en la época seca el contenido de esos minerales fue mayor en los ranchos 4 y 5 (0.51 ± 0.01 y 0.51 ± 0.01 mg/L), pero menor en el rancho 3 (0.41 ± 0.01 mg/L). En el caso del Fe en suero sanguíneo de los bovinos se debió a que en la época de lluvias las concentraciones del mineral fueron mayores en el rancho 3 (3.38 ± 0.04 mg/L) y menores en los ranchos 2 y 5 (2.74 ± 0.04 y 2.74 ± 0.04 mg/L). En la época de nortes las concentraciones séricas de Fe fueron mayores en el rancho 3 (2.88 ± 0.039 mg/L), mientras que durante la sequía, las mayores concentraciones de Fe en suero sanguíneo la tuvieron los animales de los ranchos 2 y 3 (2.03 ± 0.05 y 2.57 ± 0.04 mg/L).

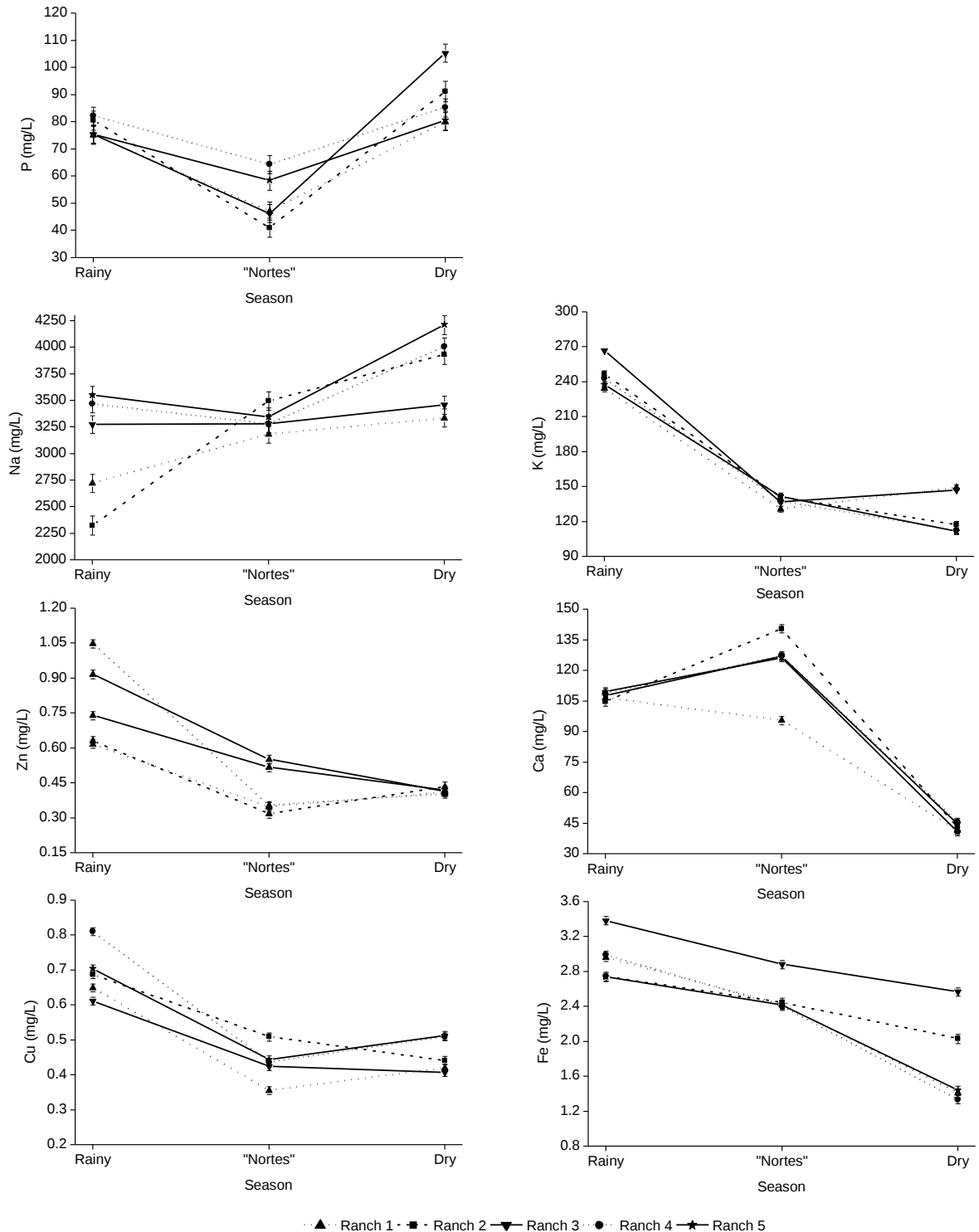


Figura 9. Medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar de la concentración de Cu, Fe, Zn, Ca, Na, K y P en suero sanguíneo de bovinos de doble propósito durante tres épocas del año en el trópico húmedo de México.

Las diferencias entre ranchos y épocas del año para el contenido de Zn en suero sanguíneo se explican por diferencias climatológicas a través del año. Las concentraciones séricas de Zn fueron mayores en el rancho 4 (1.05 ± 0.02 mg/L) y menores en los ranchos 1 y 2 (0.62 ± 0.02 y 0.63 ± 0.02 mg/L) durante la época de

lluvias; asimismo, las concentraciones séricas de Zn fueron mayores en los ranchos 3 y 5 (0.52 ± 0.02 y 0.55 ± 0.02 mg/L) durante la época de nortes, pero fueron similares en todos los ranchos durante la época seca.

Las diferencias en el contenido de Na, se debieron a que en la época de lluvias las mayores concentraciones en suero sanguíneo las tuvieron los animales de los ranchos 3, 4 y 5 (3274 ± 83.84 , 550 ± 83.84 y 2597 ± 83.84 mg/L), mientras que, en la época de nortes, la mayor concentración fue en el rancho 2 (3494 ± 88.37 mg/L). En la época seca la concentración de Na fue mayor en el rancho 5 (4211 ± 88.92 mg/L). Para el K, las diferencias observadas se debieron a que en la época de lluvias la mayor concentración la tuvieron los animales del rancho 3 (267 ± 2.78 mg/L). Durante la época de nortes, los animales de todos los ranchos presentaron similar contenido de K en sangre, mientras que en la época seca las menores concentraciones séricas de ese elemento mineral se tuvieron en los animales de los ranchos 2, 4 y 5 (117 ± 3.12 , 111 ± 2.76 y 112 ± 2.93 mg/L). Respecto al P, las diferencias observadas se debieron a que las mayores concentraciones séricas del mineral se encontraron en los animales de los ranchos 2 y 5 (80.5 ± 43.5 y 82.12 ± 3.32 mg/L) durante la época de lluvias, pero concentraciones de P más elevadas se encontraron en los ranchos 4 y 5 (64.3 ± 3.31 y 58.4 ± 3.5 mg/L) durante la época de nortes; mientras que en el rancho 3 (105 ± 3.32 mg/L) se tuvieron las concentraciones más de P durante la época seca.

Vieyra-Alberto et al. (2013) también reportaron efectos de la interacción de la unidad de producción x época del año en las concentraciones de Ca, P, Mg, K y Na en el suero sanguíneo de los animales. Asimismo, Morales et al. (2007) observaron efectos de la interacción de la localidad x época del año en las concentraciones de P, K y Na en suero sanguíneo de bovinos. En ovinos, Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008) también informaron sobre los efectos de la interacción de la unidad de producción x época del año, de las concentraciones séricas de Cu, Ca y Mg. Es conveniente resaltar que las menores concentraciones de minerales en el suero sanguíneo de los animales se obtuvieron durante la época de secas. Esto puede deberse a que en la época de secas el consumo de materia seca es bajo y el aporte de minerales depende de la disponibilidad de forraje y de la suplementación exógena (Ku-Vera, 1999; Alonso-Díaz et al. 2007).

El efecto de la interacción de rancho x tipo de animal se debió a la magnitud de las diferencias en las concentraciones de Na y P en la mayoría de los ranchos estudiados para animales adultos y jóvenes. La interacción de rancho x tipo de animal solo fue significativa para las concentraciones séricas de Na y P en las vacas como en las crías. En el caso del Na, las crías tienen mayores concentraciones que las vacas en 16.2, 11.2, 8.5 y 5% en los ranchos 1, 2, 3 y 4, respectivamente, sin embargo, en el rancho 5 las concentraciones de Na son similares entre vacas y crías. Respecto al P, la magnitud de las diferencias entre los ranchos varía y las crías tienen mayores concentraciones que las vacas en un 47, 20, 40, 14 y 17% en los ranchos 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente. Vieyra-Alberto et al. (2013) reportaron efecto de la interacción unidad de producción x edad del animal en el contenido de Ca en suero sanguíneo, mientras que Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008) efectos similares para el contenido sérico de Mg y Cu en animales adultos y jóvenes.

El efecto de la interacción época x tipo animal en las concentraciones de Zn y Na se debieron a diferencias entre vacas y crías. Las concentraciones séricas de Zn en vacas y crías fue de 0.82 ± 0.012 y 0.76 ± 0.012 mg/L en la época de lluvias, de 0.40 ± 0.012 y 0.430 ± 0.011 mg/L en la época de nortes y de 0.41 ± 0.012 y 0.42 ± 0.012 mg/L en la época seca. Las crías en época de lluvias tuvieron mayores concentraciones de Na en sangre (3367 ± 54 mg/L) que las vacas (2767 ± 54 mg/L); en época de nortes, las vacas y las crías tuvieron concentraciones séricas de Na similares; aunque en época de secas las crías tuvieron mayor concentración de Na (3840 ± 55 mg/L) que las vacas (3736 ± 55 mg/L).

Poca información existe de los efectos de la época del año x tipo de animal. Vieyra-Alberto et al. (2013) reportaron que la interacción de época del año x tipo animal no afectó la concentración sérica de ninguno de los minerales estudiados. Mientras que Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008) reportaron diferencias en las concentraciones de Cu, Zn, Ca, Mg y K en suero sanguíneo de ovinos como efecto de la interacción de la unidad de producción x edad del animal. Yokus y Cakir (2006) mencionan que la raza, sexo, condición fisiológica y prácticas diferenciadas de alimentación entre los grupos de edades en un mismo

hato, contribuyen a diferenciar el estado mineral entre animales de diferentes edades y épocas del año. Por lo anterior, es conveniente que en investigaciones futuras se incluya el análisis de los factores relacionados con la variación del contenido mineral en suero sanguíneo de animales de diferente estado fisiológico a través de las épocas del año.

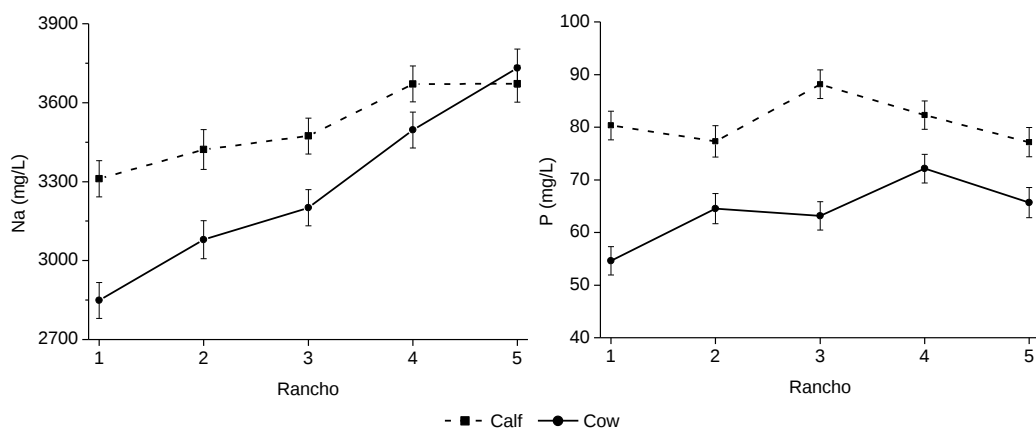


Figura 10. Medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar de la concentración de Fe, Zn y P en suero sanguíneo de vacas de doble propósito y sus crías durante tres épocas del año en el trópico húmedo de México.

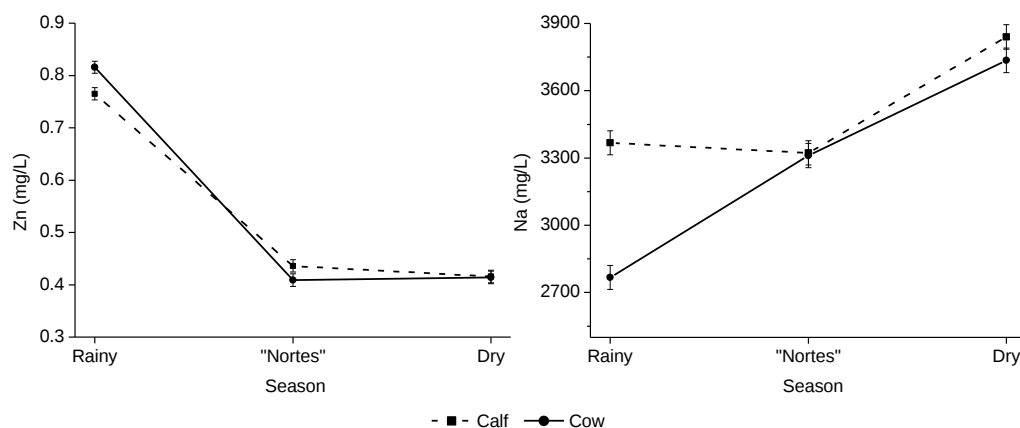


Figura 11. Medias de cuadrados mínimos $\pm$ error estándar de la concentración de Cu, Fe, Zn, Ca, Na, K y P en suero sanguíneo de vacas doble propósito y sus crías en tres épocas del año en el trópico húmedo de México.

Por otro lado, todos los animales de los ranchos ganaderos estudiados presentan deficiencias de Cu en suero sanguíneo en las tres épocas del año (Cuadro 5). Del total de animales muestreados el 94, 85 y 21.5% tuvieron concentraciones séricas bajas de Cu, Zn y Na, respectivamente, mientras que el P fue deficiente en el 14.5 de las vacas y 23% de las crías, lo cual coincide con las deficiencias de esos mismos minerales en los forrajes que consumen los animales. Resultados similares fueron reportados por Vieyra-Alberto et al. (2013) en bovinos y pasturas de clima tropical y por Morales et al. (2007) en vacas lecheras de clima templado. Según McDowell y Arthington (2005), después del P, el Cu es el segundo mineral limitante para los bovinos en el trópico. Waldron (2010) indica que el Cu es un elemento necesario para las enzimas antioxidantes superóxido dismutasa (SOD) y ceruloplasmina. Según Spears y Weiss (2008), la SOD convierte el superóxido a peróxido de hidrógeno, mientras que la ceruloplasmina previene la oxidación y la peroxidación de los tejidos durante la oxidación del hierro férrico (Fe^{+3}) a ferroso (Fe^{+2}), y contribuyen a eliminar radicales peróxido. Durante el periodo experimental, en el rancho 3 se observaron signos de ataxia neonatal como son incoordinación muscular y parálisis de las extremidades traseras de los terneros recién nacidos. Estos signos se presentan por deficiencias de Cu durante la gestación y pueden causar la muerte del ternero recién nacido. El NRC (1985) y Faye et al. (1991) mencionan que la ataxia

neonatal es característica de deficiencia de Cu en corderos jóvenes debido a desórdenes en la síntesis de mielina, ya que el Cu es necesario para activar la enzima citocromo oxidasa, que actúa en la síntesis de fosfolípidos para activar la síntesis de mielina.

El contenido de Fe en el suero de las vacas del rancho 3 fue mayor al requerido durante las lluvias y nortes, debido a que los forrajes presentaron también alto contenido de Fe. Sin embargo, la concentración de Zn en el suero sanguíneo de los animales no alcanzó el mínimo requerido en ninguno de los ranchos ganaderos y épocas del año, lo cual concuerda con lo reportado por Morales et al. (2007), Yadav y Khirwar (2000) y Kumaresan et al. (2010). Según Spears y Weiss (2008) el Zn tiene varias funciones en el sistema inmune, siendo importante para la salud y bienestar de los animales. El Zn es componente de la enzima antioxidante superóxido dismutasa y es necesario también para la síntesis de metalotionina, lo que ayuda a la eliminación de radicales libres para mantener la integridad del tejido epitelial y para la formación de queratina como barrera fisiológica contra la infección (O'Rourke 2009). De este modo, las células requieren Zn para una rápida proliferación celular (Spears y Weiss 2008; Forsberg 2010).

Las concentraciones séricas de Na en el ganado del rancho 1 fueron bajas. Esto se debe a que durante mucho tiempo no se suplementó sal común ni mezclas de minerales a los animales. Las concentraciones séricas más bajas de Na se observaron durante la época de lluvias, posiblemente por una mayor dilución de este mineral en los animales por mayor consumo de agua proveniente de los forrajes; además, las crías presentaron mayor concentración de Na en el suero sanguíneo comparado con las vacas, pero ambos grupos (adultos y jóvenes) estuvieron en el rango adecuado de este mineral (Puls, 1994). Metabólicamente, el sodio es indispensable en el sistema Na-K-ATPasa, responsable de crear el gradiente eléctrico necesario para el transporte de nutrientes a las células. La bomba Na-K es esencial para posibilitar el transporte de glucosa, aminoácidos y fósforo hacia las células, y de hidrógeno, calcio, bicarbonato, potasio y cloro desde las células (O'Dell y Sunde, 1997; NRC, 2001; McDowell, 2002). Respecto a los niveles altos de Fe y P en la sangre de vacas y terneros, pueden deberse a que siendo Cu deficiente se origina baja actividad de la enzima superóxido dismutasa (SOD), ocasionando hemólisis liberándose Fe y P al torrente sanguíneo (Waldron 2010). Una de las funciones del P es la formación y mantenimiento de huesos; el P es un componente de los ácidos deoxi y ribonucleico, los cuales son esenciales para el crecimiento y diferenciación de las células óseas. Como fosfolípido el P contribuye a la integridad y fluidez de la membrana celular y a la formación de mielina del sistema nervioso. El P también juega un papel importante en funciones metabólicas, incluyendo la utilización y transferencia de energía vía AMP, ADP y ATP con implicaciones en la gluconeogénesis, transporte de ácidos grasos y síntesis de aminoácidos y proteínas (Suttle 2010).

7.6 Conclusiones

En el sistema ganadero de bovinos doble propósito del trópico húmedo de México se tienen deficiencias de cobre y zinc en los animales todo el año, pero principalmente durante las épocas de nortes y secas. El 94, 85 y 22% de los animales que pastorearon en los ranchos estudiados tuvieron deficiencias de Cu, Zn y Na, respectivamente; mientras que el P fue deficiente en el 14.5 de las vacas y 23% de las crías. Las concentraciones de cobre, hierro, zinc, magnesio, sodio, potasio y fósforo en el forraje suelo y agua de bebida fueron mayores durante la época seca. Hubo deficiencias de cobre, zinc y sodio en el suelo durante las épocas de lluvias y nortes, así como deficiencias de fósforo y niveles altos de hierro en las tres épocas del año. Los forrajes disponibles para los animales presentaron niveles bajos de cobre y fósforo todo el año, mientras que el zinc fue deficiente en las pasturas solo durante la época de lluvias. El 98, 30, 48 y 81% de las muestras de forrajes tuvieron valores por debajo del nivel mínimo de Cu, Zn, Na y P, respectivamente. Se recomienda suplementar cobre, zinc, sodio y fósforo todo el año, excluyendo hierro en el suplemento mineral.

La época del año afecta la composición nutrimental de los forrajes del trópico húmedo mexicano siendo la época de lluvias donde se presentan los menores contenidos de minerales, proteína cruda y fibra detergente ácido, así como los mayores contenidos de fibra detergente neutro, mientras en la época de secas ocurre lo contrario.

7.7 Literatura citada

- Aguilar, S.A., 1987. Muestreo de suelos y manejo de las muestras. *In: El Análisis Químico de Suelos*. Tah IJF (comp.). Chapingo. Estado de México. 1984. Universidad Autónoma Chapingo, pp: 49--57
- Alonso-Díaz, M.A., Castillo-Gallegos, E., Basurto-Camberos, H., Jarillo-Rodríguez, J. y Valles-de la Mora, B., 2007. Respuesta productiva de una pastura de gramas nativas bajo pastoreo rotacional intensivo en clima cálido húmedo, *Revista Avances de Investigación Agropecuaria*, 11, 35--55
- Asif, M.M., Rahman, Z.U., Arif, M., Haq, I.U. and Javed, I., 1996. Trace element and electrolyte concentrations in different physiological states of Sahiwal cattle, *Journal of Islamic Academy of Sciences*, 9(4), 125--128
- Bowen, H.J.M., 1966. *Trace Elements in Biochemistry*, (Academic Press. New York)
- Buxton, D.R., Mertens, D.R. and Fisher, D.S., 1996. Forage quality and ruminant utilization. *In: Moser LE, Buxton DR, Casler MD (ed.) Cool-season forage grasses*. Agron. Monogr. 34. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI. pp: 229--266
- Cabrera, T.E.J., Sosa, R.E.E., Castellanos, R.A.F., Gutiérrez, B.A.O. y Ramírez, S.J.H., 2009. Comparación de la concentración mineral en forrajes y suelos de zonas ganaderas del estado de Quintana Roo, México, *Veterinaria México*, 40, 167--179
- Castañeda, C.S., 2012. Diagnóstico mineral de ganado bovino en condiciones de trópico húmedo, (Tesis de Maestría en Ciencias no publicada, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, 60 p)
- Castillo, A.R., St-Pierre, N.R., Silva, R.N. and Weiss, W.P., 2013. Mineral concentrations in diets, water, and milk and their value in estimating on-farm excretion of manure minerals in lactating dairy cows, *Journal of Dairy Science*, 96, 3388--3398
- Church, D.C., 1984. *Alimentos y Alimentación del Añado*. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur S. R. L. Uruguay
- Clesceri, S.L., Greenberg, E.A. and Trusseli, R.R., 1992. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales, Ed. Díaz De Santos, España, pp: 4-187 y 4-195
- Collins, M., 1991. Nitrogen effects on yield and forage quality of perennial ryegrass and tall fescue, *Agronomy Journal*, 83(3), 588--595
- Crasta, O.R. and Cox, W.J., 1996. Temperature and soil water effects on maize growth, development, yield, and forage quality, *Crop Science*, 36(2), 341--348
- De Vargas, Jr. F.M., Socorro, M.M., Setti, J.D.A., Pinto, G., Martins, C.F., da Costa, J.A.A., Magrin, M.N., Camilo, F.R. and Montagner, D.B., 2013. Disponibilidade e valor nutritivo de gramíneas tropicais sob pastejo com ovinos, *Archivos de Zootecnia*, 62(238), 295--298
- Deetz D.A., Jung, H.G. and Buxton, D.R., 1996. Water-deficit effects on cell-wall composition and *in vitro* degradability of structural polysaccharides from alfalfa stems, *Crop Science*, 36(2), 383--388
- Domínguez-Vara, I.A. y Huerta-Bravo, M., 2008. Concentración e interrelación mineral en suelo, forraje y suero de ovinos durante dos épocas en el valle de Toluca, México, *Agrociencia*, 42, 173--183
- Faye, B., Grillet, C., Tessema, A. and Kamil, M., 1991. Copper deficiency in ruminants in the Rift Valley of East Africa, *Tropical Animal Health and Production*, 23, 172--180
- Fick, K.R., McDowell, L.R., Miles, P.H., Wilkinson, N.S., Funk, J.D., Conrad, J.H. y Valdivia, R., 1979. *Métodos de Análisis de Minerales para Tejidos de Plantas y Animales*. Segunda Edición. (Universidad de Florida, Gainesville, Florida, USA)
- Forsberg, N.E., 2010. Nutritional regulation of innate and mucosal immunity. *Proceedings of the 2010 Penn State Dairy Cattle Nutrition Workshop* (Grantville, Pennsylvania. USA)
- Gámez, B.J.R., 2009. Diagnóstico del estado mineral de bovinos en San Juan Del Río, Choapam, Oaxaca, (Tesis de Maestría en Ciencias no publicada, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, 66 p)
- Genther, O.N. and Hansen, S.L., 2014. A multi-element trace mineral injection improves liver copper and selenium concentrations and manganese superoxide dismutase activity in beef steers, *Journal of Animal Science*, 92, 695--704
- Halim, R.A., Buxton, D.R., Hattendorf, M.J. and Carlson, R.E., 1990. Crop water stress index and forage quality relationships in alfalfa, *Agronomy Journal*, 82(5), 906--909
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2009. *Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Catatzajá, Chiapas. Clave geoestadística 07016. 9 p
- Jarillo-Rodríguez, J., Castillo-Gallegos, E., Flores-Garrido, A.F., Valles-de la Mora, B., Ramírez y Avilés, L., Escobar-Hernández, R. and Ocaña-Zavaleta, E., 2011. Forage yield, quality and utilization

- efficiency on native pastures under different stocking rates and seasons of the year in the Mexican humid tropic, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(3), 417--427
- Jarrige, R., Dulphy, J.P., Faverdin, P., Baumont, R. and Demarquilly, C., 1995. Activités d'ingestion et de rumination. *In: Nutrition des ruminants domestiques: ingestion et digestion*. Institut National de la Recherche Agronomique. Nutrition des Ruminants Domestiques. Paris. pp: 123--181
- Jensen, K.B., Waldron, B.L., Asay, K.H., Johnson, D.A. and Monaco, T.A., 2003. Forage Nutritional Characteristics of Orchardgrass and Perennial Ryegrass at Five Irrigation Levels, *Agronomy Journal*, 95(3), 668--675
- Kabata-Pendias, A. 2011. Trace Elements in Soil and Plants. 4th ed. CRC Press. NY. USA. 505 p
- Kumaresan, A., Bujarbaruah, K.M., Pathak, K.A., Brajendra, I. and Ramesh, T., 2010. Soil-plant-animal continuum in relation to macro and micromineral status of dairy cattle in subtropical hillagro ecosystem, *Tropical Animal Health and Production*, 42, 569--577
- Ku-Vera, J.C., 1999. Suplementación estratégica a bovinos en medios tropicales, *In: II Seminario Internacional Estrategias de Suplementación a Bovinos en Pastoreo*, 32--49 p
- Le Du, Y.L.P. and Penning, P.D., 1982. Animal based techniques for estimating herbage intake. *In: J. Leaver (ed.) Herbage Intake Handbook*, (The British Grassland Society)
- Linn, D.M. and Doran, J.W., 1984. Effect of water pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils, *Soil Science Society of America Journal*, 48, 1267--1272
- Lorenzo, F.J., Gómez, A.I. and Cordoví, C.E. 2012. Efecto de la edad de rebrote en el rendimiento y contenido proteico del pasto *Brachiaria humidicola* cv CIAT-609 en un suelo vertisol, *Revista Producción Animal*, 24(1), 6
- Martínez, C.E., 2006. Diagnóstico y suplementación mineral de ganado bovino en condiciones tropicales, (Tesis de Maestría en Ciencias no publicada. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 102 p)
- McDowell, L.R. and Arthington, J.D., 2005. Minerals for Grazing Ruminants in Tropical Regimes. 4th Edition. University of Florida, Gainesville, Florida. 86 p.
- McDowell, L.R., 1985. Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates. (Academic Press, New York, USA).
- McDowell, L.R., 2002. Recent Advances in Minerals and Vitamins on Nutrition of Lactating Cows, *Pakistan Journal of Nutrition*, 1, 8--9
- Miller, E.R., Parsons, M., Ullrey, D. and Ku P., 1981. Bioavailability of iron from ferric cholin citrate and a ferric copper, cobalt, cholin complex for young pigs, *Journal of Animal Science*, 52, 783--791
- Minson, D.J., 1990. Copper. *In: Forage in Ruminant Nutrition*, (Academic Press. San Diego, USA)
- Minson, D.J., 1992. Composición química y valor nutritivo de las gramíneas tropicales. *In: Skerman P (ed). Gramíneas Tropicales*. FAO. Roma, Italia. pp: 181--199
- Morales, A.E., Domínguez, V.I., González-Ronquillo, M., Jaramillo, E.G., Castelán, O.O., Pescador, S.N. y Huerta, B.M., 2007. Diagnóstico mineral en forraje y suero sanguíneo de bovinos lecheros en dos épocas en el valle central de México, *Técnica Pecuaria México*, 45, 329--344
- Muñoz-González, J.C, Huerta-Bravo, M., Rangel-Santos, R., Lara-Bueno, A. and De la Rosa-Arana, J.L., 2014. Mineral assessment of forage in mexican humid tropics. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17, 285--287
- Murphy, M., Davis, C. and McCoy, G., 1983. Factors affecting water consumption by Holstein cows in early lactation, *Journal of Dairy Science*, 66, 35--38
- Ndebele, N., Mtimuni, J.P., Mpfu, I.D.T., Makuza, S. and Mumba, P., 2005. The status of selected minerals in soil, forage and beef cattle tissues in a semi-arid region of Zimbabwe, *Tropical Animal Health and Production*, 37, 381--393
- NRC (National Research Council), 1985. Nutrient Requirements of Domestic Animals. Nutrients Requirements of Sheep. 6th Edition, (National Academies Press, Washington, USA)
- NRC (National Research Council), 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Edition. (The National Academy Press, Washington, USA)
- NRC (National Research Council), 2005. Mineral Tolerance of Animals. Second Revised Edition. Committee on Minerals and Toxic Substances in Diets and Water for Animals, (National Academy Press, Washington, USA)
- O'Dell, B.L. and Sunde, R.A., 1997. Handbook of Nutritionally Essential Mineral Elements of Livestock. 3th Edition, (CABI, London)

- O'Rourke, D., 2009. Nutrition and udder health in dairy cows. A review, *Irish Veterinary Journal*, 62, 15-20
- Ogwang, B.H., 1988. The mineral status of soil, forage and cattle tissues in the Middleveld of Swasiland, *Experimental Agriculture*, 24, 177--182
- Ortega-Gómez, R., Castillo-Gallegos, E., Jarillo-Rodríguez, J., Escobar-Hernández, R., Ocaña-Zavaleta, E., Valles de la Mora, B., 2011. Nutritive quality of ten grasses during the rainy season in a hot-humid climate and ultisol soil, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(3), 481-491
- Pereira, J.V., McDowell, L.R., Conrad, J.H., Wilkinson, N. and Martin, F., 1997. Mineral status of soils, forages and cattle in Nicaragua. I. Micro minerals, *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*, 14, 73--89
- Perkin-Elmer., 1996. *Métodos Analíticos para Espectroscopia de Absorción Atómica*, (USA)
- Puls, R., 1994. *Minerals Levels in Animal Health. Diagnostic Data*, Sherpa International, (Clarbrook, Canada)
- Ramos, M.P., 2009. Diagnóstico del estado mineral de bovinos para carne pastoreando en la región huasteca alta, (Tesis de Maestría en Ciencias no publicada. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México, 92 p)
- Ramos, O.R., Sepúlveda, R.M. y Villalobos, F.M., 2003. *El Agua en el Medio Ambiente. Muestreo y Análisis*. Edit. Plaza y Valdés, y Universidad Autónoma de Baja California. 210 p
- Richards, J.D., Zhao, J., Harrell, R.J., Atwell, C. and Dibner, J.J., 2010. Trace mineral nutrition in poultry and swine, *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 23, 1527 --1534
- SAS (Statistical Analyses System), 2009. *SAS/STAT User's Guide*. SAS Publishing, Cary, NC
- Sevastyanova, V.M., 1973. Soderzhanie medi u plazmei eritrotrikh krovi laktiruyushchikh korov, *Trudy Moskovskoi, Vet. Aked*, 64, 44--45
- Sharma, M.C., Joshi, C. and Gupta, S., 2003. Prevalence of mineral deficiency in soils, plants and cattle of certain districts of Uttarpradesh, *Indian Journal of Veterinary Medicine*, 23, 4--8
- Shirley, R.L. y Montesinos, J.L., 1978. El agua como fuente de minerales. In: McDowell, R.L., Conrad, J.H., (Eds.). *Simpósio latinoamericano sobre investigaciones en nutrición mineral de los rumiantes en pastoreo*, Universidad de Florida, Gainesville, Florida
- Socha, M.T., Tomlinson, D.J. and DeFrain, J.M., 2009. Variability of water composition and potential impact on animal performance, *Animal Nutrition Conference*
- Spears, J.W. and Weiss, W.P., 2008. Role of antioxidants and trace elements in health and immunity of transition dairy cows, *The Veterinary Journal*, 176, 70--76
- Steel, R.G.D., Torrie J.H. and Dickey, D.A., 1997. *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach*. 3rd ed. McGraw-Hill Series in Probability and Statistics. USA
- Suttle, N.F., 2010. *Mineral Nutrition of Livestock*. 4th Edition. CABI Publishing, UK. 595 p.
- Underwood, E.J. and Suttle, N.F., 1999. *The Mineral Nutrition of Livestock*. 3th Edition, (CABI. Publishing London)
- Van Soest, P.V., Robertson, J.B. and Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583--3597
- Vázquez, A. J. F., Rojo, R.R., García, M., López, M., Salem, A.F., Domínguez, I.A., Pescador, N. and Tinoco, L., 2011. Effect of season on serum Cu and Zn concentrations in crossbred goats having different reproductive status under semiarid rangeland conditions in southern Mexico State, *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 331--335
- Velásquez-Pereira, J., McDowell, L.R., Conrad, J.H., Wilkinson, N. and Martin, F., 1997. Mineral status of soils, forages and cattle in Nicaragua. I. Micro minerals, *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 14, 73--89.
- Venuto, B.C., Burson, B.L., Hussey, M.A., Redfearn, D.D., Wyatt, W.E. and Brown, L.P., 2003. Forage yield, nutritive value, and grazing tolerance of Dallisgrass biotypes, *Crop Science*, 43 (1), 295--301.
- Vieyra-Alberto, R., Domínguez-Vara, I.A., Olmos-Oropeza, G., Martínez-Montoya, J.F., Bórquez-Gastelum, J.L., Palacio-Núñez, J., Lugo, J.A. y Morales-Almaráz, E., 2013. Perfil e interrelación mineral en agua, forraje y suero sanguíneo de bovinos durante dos épocas en la huasteca potosina, México, *Agrociencia*, 47, 121--133
- Waldron, K.J., Rutherford, J.C., Ford, D. and Robinson, N.J., 2009. Metalloproteins and metal sensing, *Nature*, 460, 823--830

- Waldron, M.R., 2010. Impact of metabolic and oxidative stressors on periparturient immune function and health, Penn State Dairy Cattle Nutrition Workshop
- Weiss, W.P., Pinos-Rodriguez, J.M. and Socha, M.T., 2010. Effects of feeding supplemental organic iron to late gestation and early lactation cows, *Journal of Dairy Science*, 93, 2153 --2160
- Whitehead, C.D., 2000. *Nutrient Elements in Grassland: soil-plant-animal relationship*, (CABI Publishing, New York, USA)
- Yadav, S. and Khirwar, S.S., 2000. Soil-plant-animal relationship of zinc in milch buffaloes of Jind district in Haryana, *Indian Journal of Animal Sciences*, 70, 965--967.
- Yokus, B., and Cakir, U.D., 2006. Seasonal and physiological variations in serum chemistry and mineral concentrations in cattle, *Biological Trace Element Research*, 109, 255--266

CAPÍTULO 6

8 EVALUACIÓN MINERAL DE FORRAJES DEL TRÓPICO HÚMEDO MEXICANO

[MINERAL ASSESSMENT OF FORAGE IN MEXICAN HUMID TROPICS]

J. C. Muñoz-González¹ M. Huerta-Bravo¹, R. Rangel-Santos¹, A. Lara-Bueno¹

J. L. De la Rosa-Arana²

¹Departamento de Zootecnia. Universidad Autónoma Chapingo. México.

²Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos. México.

Email: agronojuan@hotmail.com

*Corresponding autor

8.1 SUMMARY

In order to assess the mineral status of the components of the dual-purpose production system in the humid tropics; forage samples were taken in five ranches in the rainy, windy and dry seasons in the state of Chiapas, México. The fixed effects of species and season were considered in the statistical model. Statistical analysis was performed with the GLM procedure of SAS. There were significant differences ($p < 0.0001$) among the species studied for concentrations of all minerals analyzed. *Brachiaria humidicola* had the lowest Cu concentrations but higher Fe concentrations. There was also a significant effect ($p < 0.0001$) of Season for Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K and P concentrations. The effect of the interaction Species*Season for all minerals studied was significant ($p < 0.0001$).

Key words: mineral; forage; humid tropics.

8.2 RESUMEN

Con el propósito de evaluar el estado mineral de los componentes del sistema de producción doble propósito en el trópico húmedo; se tomaron muestras de forrajes en cinco ranchos en la época de lluvias, nortes y secas en el estado de Chiapas, México. El modelo estadístico consideró los efectos de Especie y Época. El análisis estadístico se realizó con el procedimiento GLM de SAS. Hubo diferencias ($p < 0.0001$) entre las especies estudiadas en las concentraciones de todos los minerales analizados, siendo el *B. humidicola* el que presenta las menores concentraciones de Cu pero las mayores concentraciones de Fe. También hubo efecto ($p < 0.0001$) de época en las concentraciones de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y P. También hubo efecto de la interacción Especie*Época ($p < 0.0001$) en todos los minerales estudiados.

Palabras clave: minerales; forraje; trópico húmedo.

8.3 INTRODUCCIÓN

Según McDowell y Arthington (2005), la evaluación del estado mineral en el ganado y de las fuentes de donde los adquiere (agua, suelo o forraje), permite proponer alternativas para la corrección de las deficiencias minerales bajo condiciones específicas para mejorar las estrategias de nutrición del ganado. La importancia biológica de los minerales radica en que el 50% de las enzimas con estructura conocida requieren de un mineral para su funcionamiento (Waldron *et al.*, 2009). Algunos trabajos realizados en México (Morales *et al.*, 2007, Domínguez y Huerta, 2008; Vieyra-Aberto *et al.*, 2013) destacan la importancia la evaluación mineral para identificar los desbalances de minerales y su interrelación ya que los factores relacionados con el suelo, la planta y los animales pueden afectar la concentración y disponibilidad de los minerales,

causando desequilibrios en los requerimientos de los animales. En México hay poca información en nutrición mineral en los forrajes tropicales, por ello, el objetivo de este trabajo fue determinar la concentración mineral de forrajes tropicales en el trópico húmedo de Chiapas, en tres épocas del año para determinar desbalances nutricionales.

8.4 MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el año 2013 en cinco ranchos situados en el ejido de Punta Arenas Municipio de Catazajá, Chiapas, México. Los forrajes estudiados fueron pasto remolino (*Paspalum notatum*), humidícola (*Brachiaria humidicola*), insurgente (*Brachiaria brizantha*) y mulato (*Brachiaria híbrida* CIAT 36061). En cada rancho se tomaron muestras forraje en las épocas de lluvias (septiembre), nortes (enero) y secas (mayo). Se utilizaron 30 jaulas de

exclusión de 0.5 de ancho x 1.0 m de largo y 1.0 m de altura cubiertas de una malla ciclónica. Las jaulas fueron asignadas a las praderas de manera aleatoria en cada una de las especies forrajeras. Un mes antes de cada muestreo los pastos eran cortados a 2-3 cm de altura, posteriormente las muestras de forraje verde eran pesadas y secadas para la determinación de materia seca y de los minerales Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y P. Los minerales Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na y K fueron analizados mediante espectrofotometría de absorción atómica (AAAnalyst 700) de acuerdo a los procedimientos indicados por Perkin-Elmer (1996) y el P por colorimetría mediante el Espectrómetro UV/VIS modelo Lambda 2 marca Perkin Elmer (Harris y Popat, 1954). Los resultados se analizaron mediante el procedimiento GLM del paquete SAS (2014) donde el modelo estadístico fue: $Y_{ij} = \mu + S_i + E_j + (S \times E)_{ij} + \epsilon_{ij}$. Donde, Y_{ij} = valor de la variable respuesta correspondiente a la *i*-ésima especie en la *j*-ésima época de muestreo, μ = media general, S_i = efecto del *i*-ésima especie (*i* = *Paspalum notatum*, *Brachiaria humidicola*, *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria híbrida* CIAT 36061), E_j = efecto de la *j*-ésima época de muestreo (lluvias, nortes, secas), $(S \times E)_{ij}$ = efecto de la *ij*-ésima interacción Especie por Época de

muestreo. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se observa en el Cuadro 33, hubo efecto ($p < 0.0001$) de especie en las concentraciones de todos los minerales estudiados, siendo el *B. humidicola* el que presenta las menores concentraciones de Cu pero las mayores concentraciones de Fe. También hubo efecto ($P < 0.0001$) de época en las concentraciones de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y P, siendo la época de lluvias donde se presentan las menores concentraciones de Cu, Fe, Zn, Mg y Na. Las concentraciones más bajas de Fe en la época de lluvias coincide con lo reportado por Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008) con 258 y 761 mg kg⁻¹ en la época de lluvias y secas, respectivamente, mientras Vieyra-Alberto *et al.*, (2013) reportan 114 y 149 mg kg⁻¹ en la época de lluvias y secas, respectivamente.

Las concentraciones de K y P fueron mayores en la época de lluvias y nortes en relación a las épocas de secas, según Minson (1990) la concentración de P aumenta en los forrajes durante su crecimiento activo en la época de lluvias.

Cuadro 33. Concentración mineral de diferentes especies forrajeras en tres épocas del año en el trópico húmedo de Chiapas.

Efecto	Minerales							
	Cu	Fe	Zn	Ca	Mg	Na	K	P
Especie	-----mg kg ⁻¹ -----			-----%-----				
<i>B. brizantha</i>	6.65 ^a	267 ^b	37 ^a	0.35 ^a	0.26 ^b	0.14 ^a	1.57 ^b	0.19 ^c
<i>B. humidicola</i>	5.62 ^c	301 ^a	32 ^b	0.33 ^b	0.26 ^b	0.11 ^c	1.95 ^a	0.22 ^a
<i>B. híbrida</i>	6.35 ^a	264 ^b	37 ^a	0.37 ^a	0.28 ^a	0.13 ^a	1.51 ^b	0.18 ^c
<i>P. notatum</i>	6.09 ^b	265 ^b	40 ^a	0.37 ^a	0.27 ^{ab}	0.13 ^b	1.60 ^b	0.20 ^b
Época								
Lluvias	4.93 ^c	253 ^c	31 ^c	0.31 ^b	0.23 ^c	0.09 ^c	1.96 ^a	0.22 ^a
Nortes	6.37 ^b	275 ^b	36 ^b	0.33 ^b	0.25 ^b	0.14 ^b	1.73 ^b	0.21 ^b
Secas	6.80 ^a	298 ^a	44 ^a	0.42 ^a	0.32 ^a	0.15 ^a	1.39 ^c	0.18 ^c
NM(1)	10	30	30	0.30	0.20	0.06	0.8	0.25
MT(2)	40	500	500	1.50	0.60	1.60	3	0.7

^{abc} Medias en la misma columna con una literal en común son similares ($P > 0.05$).

(1) Nivel mínimo en base a los requerimientos del ganado bovino (McDowell y Arthington, 2005).

(2) Niveles máximos tolerables de minerales en la dieta de bovinos (NRC, 2005).

Las mayores concentraciones de K y P en la época de lluvias en este estudio, coinciden con los encontrados por Vieyra-Alberto *et al.*, (2013) quienes reportan menores concentraciones de K y P de 0.13 y 0.06%, respectivamente, en la época de secas, mientras que en la época de lluvias encontraron mayores concentraciones de K y P de 0.17 y 0.07%, respectivamente, en la Huasteca Potosina.

También hubo efecto de la interacción Especie*Época ($p<0.0001$) en todos los minerales estudiados, esto se debió a los cambios de concentración en los minerales en las distintas épocas. Por ejemplo, la concentración de cobre es mayor en *B. brizantha* en la época de secas, mientras que las menores concentraciones de Cu la tuvo *B. humidicola* en la época de lluvias.

Por otro lado, ninguno de los pastos estudiados alcanzó los niveles mínimos de Cu y P en sus forrajes con base en los requerimientos del ganado bovino (McDowell y Arthington, 2005). Genther y Hansen (2014) concluyen que en bovinos las dietas bajas en Cu como en este caso, suplementados con antagonistas como el Fe y Mo, disminuye significativamente las concentraciones de Cu en hígado. Además, se encontraron niveles elevados de Fe sin llegar a los máximos tolerables, esto pudo deberse a las cantidades de Fe en los suelos lo que permite que las plantas puedan acumular más Fe que el requerido por los bovinos (Kabata-Pendias, 2011). Según Weiss *et al.*, (2010), en bovinos el suplemento con más de 250 mg kg⁻¹ de Fe incrementa el estrés oxidativo y disminuye el status del Cu, la salud, la producción, el consumo y la digestión de la fibra.

Las deficiencias encontradas corresponden a que el 91, 16 y 77% de las muestras de forrajes analizadas estuvieron por abajo del nivel mínimo de Cu, Zn y P, respectivamente, en base a los requerimientos del ganado bovino.

8.5 CONCLUSIONES

Existen deficiencias de Cu, Zn y P en los forrajes estudiados en el ejido de Punta Arenas, Municipio de Catazajá, Chiapas, México, por lo que se recomienda el suplemento con estos minerales durante todo el año a los animales que consumen estos pastos.

8.6 LITERATURA CITADA

- Domínguez-Vara, I. A., y Huerta-Bravo M. 2008. Concentración e interrelación mineral en suelo, forraje y suero de ovinos durante dos épocas en el Valle de Toluca, México. *Agrociencia* 42: 173-183.
- Genther, O. N., and Hansen, S. L. 2014. A multi-element trace mineral injection improves liver copper and selenium concentrations and manganese superoxide dismutase activity in beef steers. *Journal of Animal Science*. 92: 695-704.
- Harris W. D., and Popat P. 1954. Determination of the phosphorus contents of the lipids. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 32: 24-127.
- Kabata-Pendias, A. 2011. Trace Elements in Soil and Plants. Fourth Edition. CRC Press. USA. 505 p.
- McDowell, L. R., Valle, G., Cristaldi, L., Davis, P. A., Rosendo, O. and Wilkinson, N. S. 2002. Selenium availability and methods of selenium supplementation for grazing ruminants. *Proceedings 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium*. pp: 86-102.
- McDowell, L. R., y J. D. Arthington. 2005. Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales. Cuarta edición. Universidad de Florida. Gainesville, Florida. USA. 94.
- Minson, D. J. 1990. Copper *In*: Forage in Ruminant Nutrition. Academic Press, Sidney, pp: 316-324.
- Morales, A. E., V. I., Domínguez, M., González-Ronquillo, E. G., Jaramillo, O.O., Castelán, S. N., Pescador, B. M Huerta. 2007. Diagnóstico mineral en forraje y suero sanguíneo de bovinos lecheros en dos épocas en el valle central de México. *Técnica Pecuaria México* 45(3): 329-344.
- NRC. 2005. Mineral Tolerance of Animals: Second Revised Edition. Committee on Minerals and Toxic Substances in Diets and Water for Animals. National Academy Press. Washington, D. C. 510 p.
- Vieyra-Alberto R., Domínguez-Vara IA., Olmos-Oropeza G., Martínez-Montoya JF., Borquez-Gastelum JL., Palacio-Núñez J., Lugo JA., Morales-Almaráz E. 2013. Perfil e interrelación mineral en agua, forraje y suero sanguíneo de bovinos durante dos épocas en la huasteca potosina, México. *Agrociencia*. 47(2): 121-133.

Waldron, K. J., Rutherford, J. C., Ford, D., Robinson, N. J. 2009. Metalloproteins and metal sensing. *Nature* 460(7257): 823-830.

Weiss, W. P., Pinos-Rodriguez, J. M., Socha, M. T. 2010. Effects of feeding supplemental organic iron to late gestation and early lactation cows. *Journal of Dairy Science* 93(5): 2153-2160.

CAPÍTULO 7

9 PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA DE FORRAJES EN CONDICIONES DE TRÓPICO HÚMEDO EN MÉXICO

Juan Carlos Muñoz-González¹, Maximino Huerta-Bravo², Alejandro Lara Bueno^{2*}, Raymundo Rangel Santos², Jorge Luis de la Rosa Arana³

¹Estudiante del Doctorado en Ciencias en Innovación Ganadera de la Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, Km 38.5, Chapingo, Estado de México, CP 56230. México. Tel: 595 952 1621. Email: agronojuan@hotmail.com

²Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Zootecnia. Posgrado en Producción Animal. Carretera México-Texcoco, Km 38.5, Chapingo, Estado de México, CP 56230. México. Tel: 595 952 1621. Email: (MHB) mhuertab@taurus.chapingo.mx; (ALB) alarab_11@hotmail.com; (RRS) rangelsr@correo.chapingo.mx

³Secretaría de Salud de México. Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos. Francisco de Paula Miranda 117, México D.F., CP 01480. México. Tel: 555 062 1600. Email: (JLRA) jorgeluis.delarosa@yahoo.com

***Autor para Correspondencia:** Email: alarab_11@hotmail.com

9.1 RESUMEN

Con el objetivo de determinar la producción de materia seca (MS) de los forrajes en un sistema de producción de bovinos de doble propósito en el sureste de México, se utilizaron jaulas de exclusión para medir: altura (ALT), tasa de crecimiento (TC), peso seco acumulado (PSA) y producción anual de materia seca (PAMS), en forrajes de cinco ranchos ganaderos del trópico húmedo de Chiapas, a través del año. El análisis de los datos consideró los efectos fijos de rancho, mes del año, época del año y especie forrajera. Hubo efectos ($p \leq 0.001$) de las interacciones rancho con mes del año, rancho con época del año y mes del año con especie forrajera en ALT, PSA y TC. Se concluye que la producción de forraje en el trópico húmedo mexicano es afectada por el mes y la época del año ya que los forrajes en los meses de la época de lluvias tuvieron 82 y 121% más altura que en la época de nortes y secas, respectivamente; asimismo, los forrajes en la época de lluvias tuvieron 30 y 115% más peso seco acumulado (PSA) y tasa de crecimiento (TC) que en la época de nortes y secas, respectivamente.

Palabras clave: Bovinos, doble propósito, tasa de crecimiento, épocas del año.

DRY MATTER PRODUCTION OF FORAGE IN TROPIC HUMID CONDITION IN MEXICO

9.2 ABSTRACT

The aim was to determine the dry matter production of forage in dual purpose cattle system in southeastern Mexico. Exclusion cages were used to determine the height (h), accumulated dry weight (ADW), rate of growth (RG) and annual production of dry matter (APDM) in forages of five ranches in northeastern Chiapas State, throughout the year. The model for data analysis considered the fixed effects of ranch, month and season, and forages species. The effects of the interactions ranch*month, ranch*season, and month*forage species on h, ADW and RG were significant ($p \leq 0.001$). It was concluded that forage production in the Mexican humid tropics is affected by month and season. The forages during the months of the rainy season were 82 and 121% higher than in the windy and dry seasons, respectively. Also, forages in the rainy season had 30 and 115% more accumulated dry weight (ADW) and growth rate (GR) than the windy and dry seasons, respectively.

Key Word: Cattle, dual purpose, rate of growth, seasons.

9.3 INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las plantas es afectado directamente por el genotipo y por las condiciones ambientales en las que se incluyen los factores de manejo. Factores ambientales como la luz, el CO₂, minerales, agua y temperatura, afectan los procesos de fotosíntesis, la absorción de nutrientes y el desarrollo de las plantas determinando su productividad (Nurjaya y Tow, 2001).

La tasa de crecimiento, de cualquier especie forrajera, es más sensible a la temperatura ambiental, comparado con la tasa de fotosíntesis y respiración, esto es debido a que la temperatura ambiental interviene en la aparición y expansión de la lámina foliar, aparición y muerte de tallos y estolones, y el crecimiento radical, por lo que las especies forrajeras logran su mayor producción de biomasa cuando se encuentran sus rangos óptimos de temperatura (McKenzie *et al.*, 1999). Además, la composición química de los forrajes varía con la edad fisiológica, tiempo de pastoreo o de cosecha, especie y variedad de las pasturas, grado de contaminación y la fracción botánica (Adesogan *et al.*, 2000). Según Jarillo-Rodríguez *et al.* (2011), la época del año es el principal factor que afecta la calidad nutritiva del forraje, sobre todo en la temporada de lluvias, debido a la alta producción de forraje y al aumento en el contenido de pared celular, con lo que disminuye el contenido de proteína y la digestibilidad de esa pared celular.

Por otro lado, la región noreste del estado de Chiapas se caracteriza por tener tres épocas bien definidas en el año, que son la época de “nortes” (octubre-enero), la época de lluvias (junio a septiembre), y la época seca (febrero a mayo), esta última es la más crítica, caracterizada por la escasez de forraje que conlleva a una disminución de la producción de leche y de la condición corporal de los animales, agravado por la falta de manejo rotacional de los potreros. De acuerdo con Gray *et al.* (1987), el conocimiento de la distribución de la producción y la calidad de los forrajes durante el año, es una herramienta para planear su utilización.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar la producción de forraje y su tasa de crecimiento, de los forrajes estudiados en un sistema de producción de bovinos doble de propósito en pastoreo para detectar las épocas críticas y las limitantes en cuanto a la cantidad del forraje ofrecido y proponer medidas correctivas.

9.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y características del área de estudio

El trabajo se realizó, de octubre de 2012 a septiembre de 2013, en cinco ranchos ganaderos con un sistema de producción de bovinos doble propósito en pastoreo, situados en el ejido Punta Arena, Municipio de Catazajá, Chiapas, México. Esta comunidad está ubicada entre las coordenadas 17°46'50"N con 92°06'50"O y 17°43'13"N con 92°01'03"O, con clima cálido húmedo con lluvias todo el año (Af) (57.41%) y cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Aw) (42.59%), con precipitación promedio anual de 2,600 mm (Tamayo 1985) y temperatura media anual de 26 °C (INEGI 2009), con alturas que van de 9 a 10 msnm. La región se caracteriza por tener tres épocas en el año bien definidas similares a las descritas por Escobedo (1989) que son la época de "nortes" (octubre a enero) con bajas temperaturas y cielo nublado, la época de lluvias de moderadas a intensas (junio a septiembre), y la época seca (febrero a mayo) con falta de humedad, mayor irradiación solar y temperaturas elevadas. Los forrajes predominantes en los potreros son: *Paspalum notatum* (ranchos 1, 3 y 4), *Brachiaria humidicola* (Rancho 2), *Brachiaria brizantha* y *Brachiaria híbrida* (Rancho 5) .

Obtención de muestras

Se tomaron muestras de forraje mensualmente, de octubre de 2012 a septiembre de 2013. Para estimar la acumulación mensual del forraje, se colocaron jaulas de exclusión considerando el

procedimiento propuesto por Mannetje y Jones (2000). Se utilizaron 30 jaulas de exclusión de 0.5 m de ancho x 1 m de largo x 1 m de alto, hechas con varilla corrugada de media pulgada de grosor, recubiertas de malla metálica. La ubicación de las jaulas consideró la variación de la altura del forraje seleccionando tres estratos: bajo, medio y alto, colocando aleatoriamente dos jaulas de exclusión por cada estrato, para un total de seis jaulas por cada rancho ganadero. En el mes de septiembre del 2012 (30 días antes de comenzar el muestreo), se cortó el forraje en el área de la jaula de exclusión a una altura de 2 a 3 cm del suelo (Pérez-Prieto y Delegarde, 2012). Las muestras de forraje se tomaron utilizando un cuadrante de 0.25 m² dentro de la jaula. Primero, dentro del cuadrante se hicieron 20 mediciones de altura del forraje, posteriormente se cortó el forraje a la misma altura (de 2 a 3 cm del suelo), después se cortó el forraje restante a la misma altura dentro y alrededor del área de la jaula de exclusión para evitar interferencia de luz solar del forraje adyacente.

Las muestras de forraje fueron colocadas en bolsa de papel y fueron pesadas en una báscula digital. Posteriormente, el forraje colectado fue secado en una estufa de aire forzado a 65 °C durante 48 horas; las muestras secas de forraje se pesaron para determinar el peso seco de cada muestra. Adicionalmente durante el año se tomaron los datos de precipitación pluvial (PP) y temperatura (T°) de la estación meteorológica ubicada en la ciudad de Catzajá, Chiapas a cargo del departamento de Protección Civil Municipal.

Variables analizadas

Acumulación mensual y anual de forraje

La acumulación mensual de forraje se calculó determinando el peso seco acumulado (PSA) del forraje y se estimó pesando mensualmente la materia seca (MS) acumulada en las jaulas de exclusión, mientras la acumulación anual de forraje se estimó determinando la producción anual

de materia seca (PAMS) y se estimó sumando la materia seca mensual. Ambos se expresan en kg MS ha⁻¹.

Tasa de crecimiento del forraje

La tasa de crecimiento (TC) del forraje (Chapman y Lemaire, 1993) se calculó con base en la cantidad de materia seca del forraje acumulada en las jaulas de exclusión, dividida entre el intervalo de corte del forraje, y se expresa en kg MS ha⁻¹ d⁻¹.

$$TC = PSA/t$$

Donde: TC= Tasa de crecimiento (kg MS ha⁻¹ d⁻¹); PSA= Peso seco acumulado del forraje; t= Días de intervalo entre cortes.

Análisis estadísticos

Los datos de ALT, PSA, TC y PAMS se analizaron mediante el modelo lineal general (GLM) del programa SAS (2004) para un diseño completamente al azar. El modelo estadístico para los datos de ALT, PSA y TC, consideró los efectos de rancho (R_i) [1, 2, 3, 4, 5], mes del año (M_j) [octubre, noviembre...septiembre], época del año (E_k) [nortes, secas, lluvias], especie forrajera (S_l) [*B. brizantha*, *B. humidicola*, *B. híbrido*, *P. notatum*] y las interacciones ($R*M_{ij}$), ($R*E_{ik}$), ($R*S_{il}$), ($M*S_{jl}$) y ($E*S_{ks}$). Los datos de PAMS solo se utilizaron para la comparación entre ranchos. Se utilizó la prueba de Tukey (Steel *et al.*, 1997) para la comparación de medias de tratamientos.

9.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Acumulación mensual de forraje

Hubo efecto ($p \leq 0.05$) de la interacción rancho*mes del año, rancho*época del año y especie forrajera*mes del año en ALT y PSA del forraje.

Para una mejor observación del comportamiento productivo de los forrajes estudiados, en la Figura 12 se presenta la precipitación pluvial (PP), temperatura (T°), ALT y PSA a través del año en la zona de estudio. Como se observa, la mayor altura y producción de forraje corresponde a los meses con mayor PP (junio a septiembre) y seguido de la época de nortes (octubre a enero), mientras la menor producción corresponde a la época seca (febrero a mayo), cuando la T es mayor y la PP es menor.

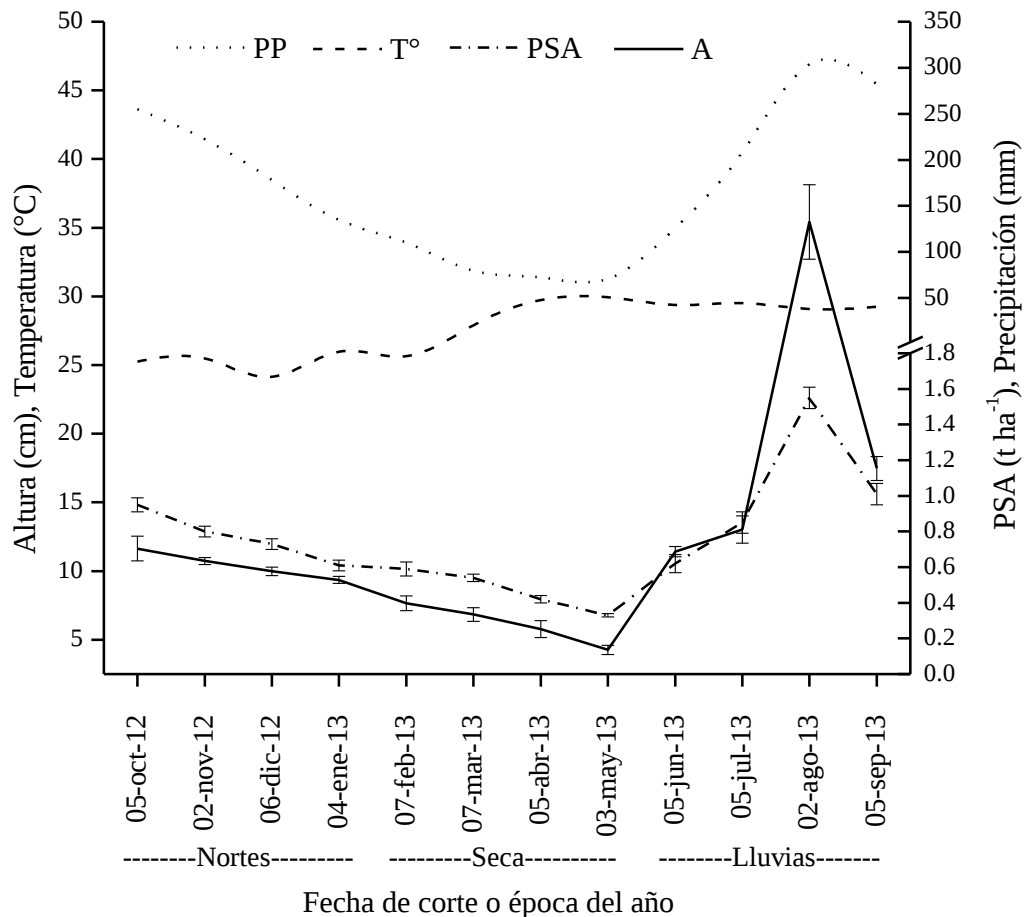


Figura 12. Precipitación pluvial (PP), temperatura (T°), peso seco acumulado (PSA; $n=720$) y altura (ALT; $n=7200$) del forraje durante el año en condiciones de trópico húmedo en el sureste de México.

La interacción rancho*mes del año en ALT se debió a que fue diferente ($p \leq 0.05$) en todos los ranchos en el mes de agosto siendo mayor en el Rancho 2 (55.05 cm), seguido de los ranchos 4, 5, 3 y 1 con 37.55, 34.23, 27.98 y 22.33 cm, respectivamente; mientras en el mes de septiembre

los ranchos 2, 4 y 5 con 19.93, 19.05, y 17.72 cm, respectivamente, tuvieron mayor ALT en sus forrajes respecto a los ranchos 1 y 3 con 14.63 y 15.87 cm, respectivamente. En la la Figura 13 se presentan la ALT y PSA en los ranchos evaluados a través de los meses del año.

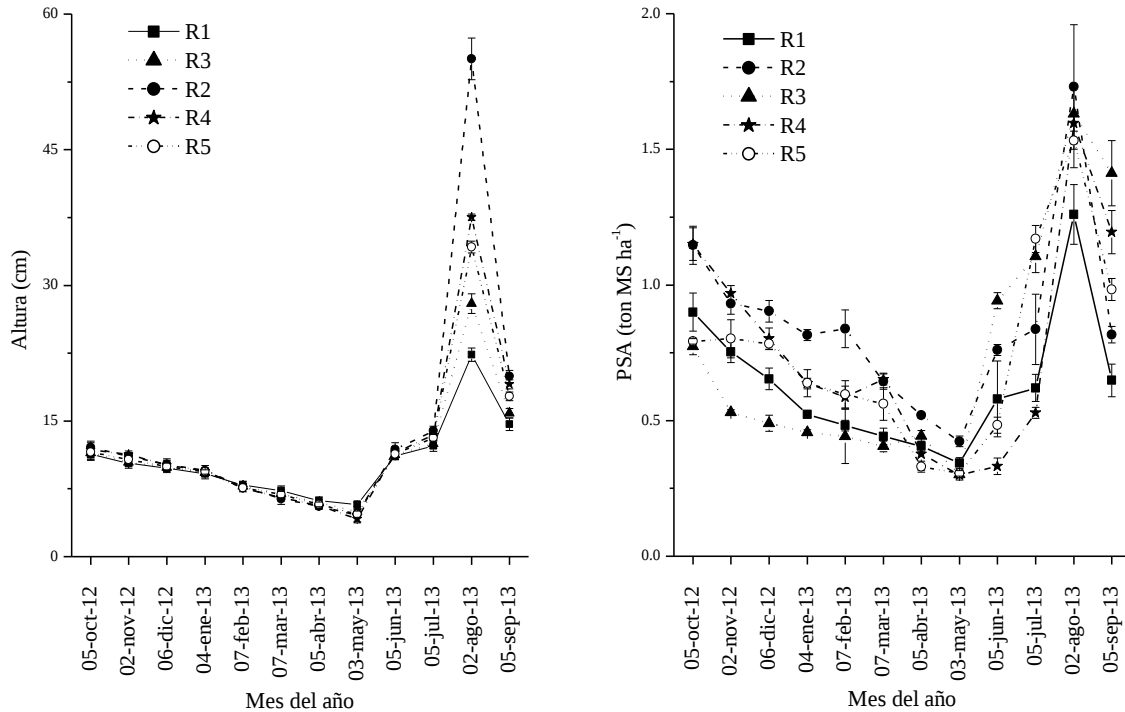


Figura 13. Altura (ALT; $n= 7200$) y peso seco acumulado (PSA; $n= 720$) del forraje durante el año en condiciones de trópico húmedo en el sureste de México.

La interacción rancho*mes del año de PSA, se debió a que en octubre hubo mayor PSA en los forrajes de los ranchos 2 y 4 (1.15 y 1.15 ton MS ha⁻¹), cuando el PSA en los ranchos 1, 3 y 5 (0.90, 0.77 y 0.79 ton MS ha⁻¹) fueron menores; mientras en noviembre los ranchos 2 y 4 (0.93 y 0.97 ton MS ha⁻¹) tuvieron mayor PSA que el resto de los ranchos; sin embargo, el Rancho 2 tuvo mayor PSA que los demás ranchos en diciembre, enero, febrero, abril y mayo con 0.90, 0.82, 0.84 0.52 y 0.42 ton MS ha⁻¹, respectivamente; en marzo la interacción se debió a que PSA en los ranchos 1 y 3 (0.44 y 0.41 ton MS ha⁻¹) fue menor comparado con los otros ranchos; sin embargo, el Rancho 4 tuvo mayor PSA en junio y julio (0.33 y 0.53 ton MS ha⁻¹) que los demás ranchos; en agosto la interacción se debió a que el Rancho 1 (1.26 ton MS ha⁻¹) tuvo menor PSA

que el resto de los ranchos, mientras en septiembre todos los ranchos tuvieron diferente PSA con 0.65, 0.82, 1.41, 1.20 y 0.98 para los ranchos 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente. De acuerdo a los resultados obtenidos, podemos considerar que ALT y PSA fueron altos en los meses de junio, julio, agosto y septiembre (época de lluvias), intermedios en los meses de octubre, noviembre, diciembre y enero (época de nortes) y bajos en los meses de febrero, marzo, abril y mayo (época seca). Esto se debe a que durante los meses de junio julio, agosto y septiembre las temperaturas y humedad fueron mayores.

Arteaga (2014) también reporta mayor PSA de junio a septiembre con un comportamiento similar de la estacionalidad en la producción de forraje en el trópico subhúmedo de Puebla. Algunos estudios han correlacionado positivamente el nivel de precipitación con la altura y la producción de materia seca de los forrajes (Ramírez *et al.*, 2009), ya que los pastos tropicales dependen del balance entre la tasa fotosintética y la tasa de respiración de la planta para la acumulación de materia seca (Taiz y Zeiger, 2002).

La interacción rancho*época en ALT se debió a la diferencia entre los ranchos en la época de lluvias, así, el Rancho 2 (25.18 cm) tuvo mayor ALT comparado con el Rancho 1, 3, 4 y 5 (15.08, 16.89, 20.38 y 19.11 cm), mientras en la época de nortes y secas ALT fue similar en todos los ranchos. Como se observa en la Figura 14, los forrajes crecen más en la época de lluvias, seguida de la época de nortes, alcanzando la menor altura en la época seca.

Los forrajes en la época de lluvias (19.33 cm) tuvieron 82% más ALT que en la época de nortes (10.44 cm) y 121% más ALT que la época seca (6.30 cm), respectivamente. Según Castillo *et al.* (2009) mencionan que la altura de la pradera, presenta una relación positiva con el forraje presente, concluyendo que se puede estimar con confiabilidad la materia seca presente a partir de la altura estimada antes del pastoreo. Hodgson (1990) menciona que la altura de la pradera,

aunada a la densidad de forraje, determina la cantidad de forraje que se produce, mientras que la diversidad de las especies determina la calidad de la materia seca disponible.

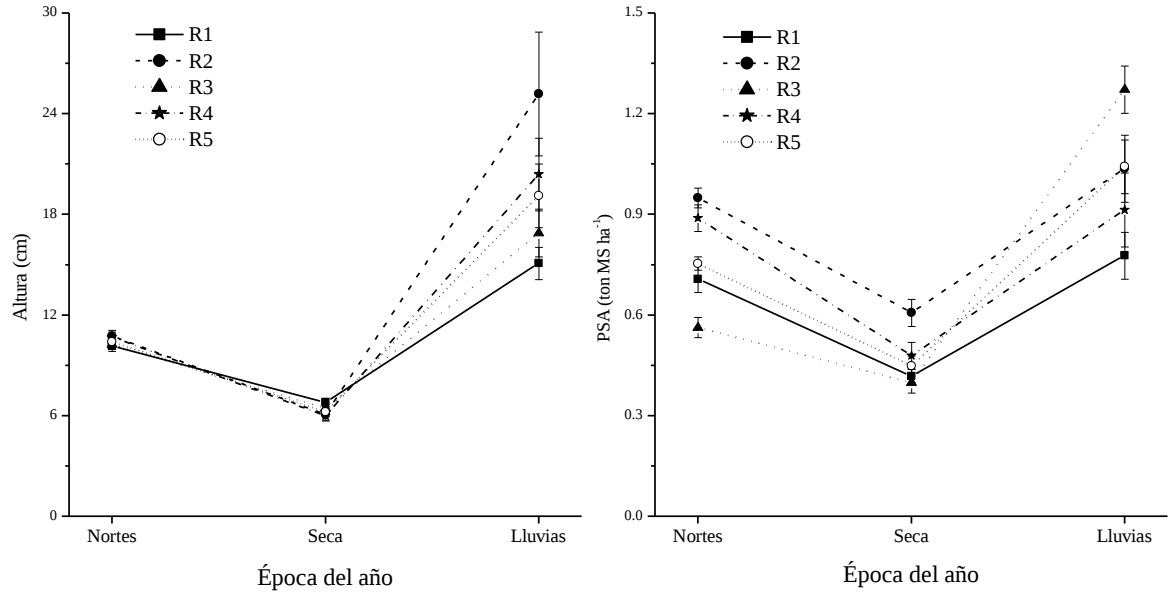


Figura 14. Altura (ALT) y peso seco acumulado (PSA) de forrajes de cinco ranchos en tres épocas del año en condiciones de trópico húmedo en el sureste de México.

La interacción rancho*época en PSA se debió a que el Rancho 2 tuvo mayor PSA ($p < 0.05$) durante la época de nortes comparado con las praderas de los ranchos 1, 3, 4 y 5 (0.95 vs 0.71, 0.56, 0.89 y 0.75 ton ha⁻¹), representando 34, 69, 7, y 26% más PSA, respectivamente. También en la época seca, el Rancho 2 tuvo mayor producción de forraje seco ($p < 0.05$) comparado con los ranchos 1, 3, 4 y 5 (0.61 vs 0.42, 0.40, 0.48 y 0.45 ton ha⁻¹, respectivamente), lo que representa el 45, 52, 27 y 35% más, respectivamente. Mientras en la época de lluvias, el Rancho 3 tuvo mayor PSA ($p < 0.05$) comparado con los ranchos 1, 3, 4 y 5 (1.27 vs 0.78, 1.04, 0.91, 3.66 y 1.04 ton ha⁻¹, respectivamente) lo que representa 64, 23, 39 y 22% más, respectivamente. De este modo, las diferencias entre los ranchos en cada época del año en la producción de forraje (ALT y PSA) pueden atribuirse a las condiciones de precipitación, temperatura de la época del año y manejo de las praderas en cada rancho. Por ejemplo, el Rancho 2 tuvo mayor PSA comparado con las praderas de los ranchos 1, 3, 4 y 5 con (0.87 vs 0.63, 0.74, 0.76, 0.75 ton ha⁻¹,

respectivamente), lo que significa que el Rancho 2 tuvo 36, 16, 14 y 16% más PSA que los ranchos 1, 3, 4 y 5, respectivamente.

Por otro lado, la media de PSA anual de forraje fue de 9.00 ton ha⁻¹, del cual en los meses de la época de lluvias se produjo el 45% (4.03 kg ha⁻¹), en los meses de la época de nortes el 34% (3.09 kg ha⁻¹) y en los meses de la época seca el 21% (1.88 kg ha⁻¹). Lo que significa que en la época de lluvias se produjo 30 y 115% más PSA que en la época de nortes y secas, respectivamente. Arteaga (2014) reportó PSA anual mayor a este estudio de 9.331 kg ha⁻¹, del cual en la época de lluvias se produjo 53% (4.975 kg ha⁻¹), en la época de nortes el 26% (2.388 kg ha⁻¹) y en la época seca el 21% (1.968 kg ha⁻¹). Aunque este autor reporta mayor PSA, el comportamiento estacional de la producción de forraje es similar al de este estudio. De acuerdo a Villarreal-Castro (1994) y Velasco *et al.* (2001) la materia seca se incrementa conforme avanza la edad o crecimiento de la planta, siendo mayor la producción de materia seca de las especies tropicales cuando se registra la máxima precipitación pluvial. Así, la mayor producción de materia seca en la época de lluvias respecto a la época de nortes y secas, puede atribuirse a las lluvias observadas en ese periodo permitiendo una mayor humedad del suelo. En el caso de la época seca, las bajas producciones de MS pueden deberse al estrés por sequía y calor, lo que provoca un estrés oxidativo que puede conducir a la inhibición de los procesos de fotosíntesis y respiración y por tanto el crecimiento de la planta (Jagtap y Bhargava, 1995; Dat *et al.*, 1998), ya que la época seca presentó mayor temperatura y menor precipitación pluvial.

La interacción especie forrajera*mes del año en ALT ocurre en el mes de agosto cuando *B. humidicola* (43.87 cm) presenta mayor altura que *B. brizantha* (33.03 cm), *B. híbrida* (35.43 cm) y *P. notatum* (30.84 cm), mientras que en el resto de los meses la altura entre las especies forrajeras son similares. En la Figura 15 se presentan la altura y la producción de materia seca de cuatro especies forrajeras a través del año.

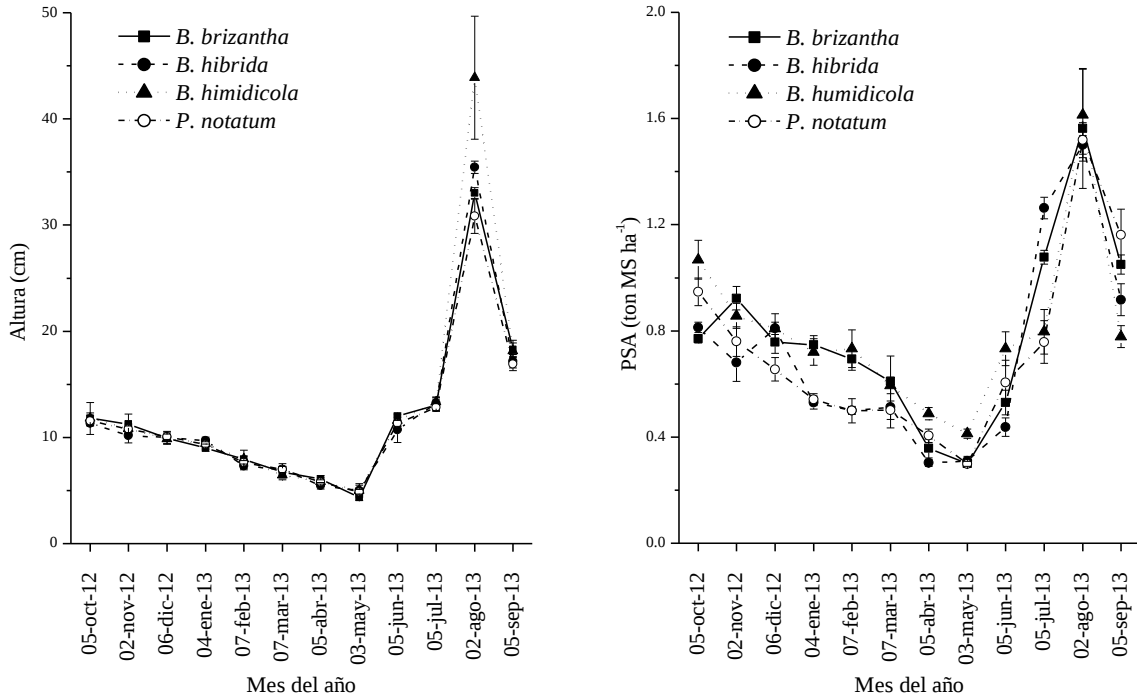


Figura 15. Altura (ALT) y peso seco acumulado (PSA) de cuatro especies forrajeras de cinco ranchos a través del año en condiciones de trópico húmedo en el sureste de México.

La interacción especie forrajera*mes del año en PSA se debió a que *B. humidicola* tuvo mayor PSA en octubre, abril y mayo (1.07, 0.48 y 0.41 ton MS ha⁻¹) que el resto de las especies, mientras *P. notatum* tuvo menor PSA en diciembre y febrero (0.65 y 0.50 ton MS ha⁻¹) comparado con el resto de las especies forrajeras; en julio *B. híbrida* tuvo mayor PSA (1.26 ton MS ha⁻¹), pero en septiembre *P. notatum* (1.16 ton MS ha⁻¹) tuvo mayor PSA que las demás especies. Así, la altura y PSA de las especies forrajeras evaluadas son mayores en los meses de la época de lluvias (junio, julio, agosto y septiembre), seguidas de los meses de la época de nortes (octubre, noviembre, diciembre y enero), y menores en los meses de la época seca (febrero, marzo, abril y mayo). De acuerdo a Juárez (2005), estos cambios en la producción de forraje de estos pastos muestran el efecto del medio ambiente, ya que un mismo pasto modifica su producción al pasar de una condición ambiental a otra como en el caso de la época del año y la fertilización. Por otro lado, la producción media de PSA de *B. humidicola*, *B. híbrida*, *B. humidicola* y *P. notatum* fueron de 0.78, 0.80, 0.71, y 0.72 kg MS ha⁻¹, respectivamente. Estos resultados son menores a lo reportado por Juárez *et al.* (2004) quienes presentan una producción

de 2.75 ton ha⁻¹ para *B. humidicola* y de 1.55 ton ha⁻¹ para *P. notatum*. Sin embargo, el PSA de *B. humidicola*, fue similar a lo reportado por Peters *et al.* (2003) quienes obtuvieron rendimientos de 0.67 a 0.83 ton MS ha⁻¹ para ésta especie. La menor cantidad de MS seca producida en el Rancho 5 (*Brachiaria híbrida* y *Brachiaria brizantha*), respecto al Rancho 2, pueden deberse a las condiciones nutrimentales del suelo, ya que en este rancho no se tiene registro de fertilizaciones anteriores.

Tasa de crecimiento y producción anual de MS

Hubo efecto ($p \leq 0.05$) de las interacciones rancho*mes del año, rancho*época del año y especie*mes del año para TC del forraje. En el Cuadro 34 se presenta la TC de los forrajes de manera mensual y la PAMS de los cinco ranchos evaluados. La TC fue diferente ($p \leq 0.0001$) entre los meses del año en todos los ranchos estudiados, excepto en el mes de agosto cuando todos los ranchos tienen TC similares ($p \geq 0.05$). También la PAMS fue diferente ($p \leq 0.007$) entre los ranchos.

Cuadro 34. Tasa de crecimiento mensual (kg de MS d⁻¹) y producción anual de materia seca (kg ha⁻¹) de forrajes en cinco ranchos del sureste de México.

Fecha de corte	Rancho					EEM*	Pr>F
	1	2	3	4	5		
05-oct-12	31.3 ^b	39.8 ^a	26.8 ^b	39.8 ^a	27.4 ^b	1.49	<.0001
02-nov-12	26.0 ^b	32.4 ^a	18.2 ^c	33.5 ^a	27.9 ^{ab}	1.81	<.0001
06-dic-12	22.7 ^b	31.6 ^a	17.0 ^c	27.8 ^{ab}	27.1 ^{ab}	1.31	<.0001
04-ene-13	18.0 ^{cd}	28.1 ^a	15.8 ^d	21.9 ^{bc}	22.1 ^b	0.96	<.0001
07-feb-13	16.6 ^b	29.0 ^a	15.2 ^b	20.3 ^{ab}	20.5 ^{ab}	2.21	<.0001
07-mar-13	15.2 ^b	22.2 ^a	13.9 ^c	22.4 ^a	19.4 ^{ab}	1.21	<.0001
05-abr-13	14.0 ^{ab}	18.0 ^a	15.3 ^{ab}	12.9 ^b	11.4 ^b	1.12	<.0001
03-may-13	11.8 ^b	14.6 ^a	10.4 ^b	10.3 ^b	10.5 ^b	0.65	<.0001
05-jun-13	20.1 ^b	26.2 ^{ab}	33.0 ^a	11.4 ^c	16.6 ^{bc}	2.41	<.0001
05-jul-13	21.4 ^{cd}	29.0 ^{bc}	38.2 ^{ab}	18.3 ^d	40.4 ^a	2.40	<.0001
02-ago-13	43.4 ^a	59.7 ^a	56.5 ^a	55.1 ^a	52.8 ^a	4.60	0.1617
05-sep-13	22.5 ^d	28.3 ^{cd}	48.7 ^a	41.2 ^{ab}	34.0 ^{bc}	2.52	<.0001
PAMS**	7,627 ^b	10,400 ^a	8,952 ^{ab}	9,040 ^{ab}	8,988 ^{ab}	528	0.0087

^{abc}Medias en la misma fila sin una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$); *EEM= error estándar de la media; **PAMS= Producción anual de materia seca.

Las mayores TC ocurre en los meses correspondientes a la época de lluvias (de junio a septiembre) donde la disponibilidad de agua para las plantas, la cantidad de radiación solar incidente sobre la pradera y la temperatura ambiental son condiciones ambientales que no limitan el crecimiento de las plantas (McKenzie *et al.*, 1999; Ramírez *et al.*, 2009; Cruz *et al.*, 2011). La mayor TC y PAMS en el Rancho 2 en la mayoría de los meses, puede deberse a la fertilización con nitrógeno (N) en las praderas de este rancho para mejorar la productividad de los forrajes, ya que la aplicación de N mejora la tasa de crecimiento (Quero, 2007; Améndola *et al.*, 2011; Lopes *et al.*, 2011).

La interacción rancho*época del año en TC de forraje se debió a que el Rancho 2 tuvo mayor TC ($p<0.05$) en la época de nortes y época seca, comparado con las praderas de los demás ranchos. Sin embargo, en la época de lluvias, el Rancho 3 tuvo mayor producción de forraje ($p<0.05$) comparado con los demás ranchos (Cuadro 35).

Cuadro 35. Tasa de crecimiento ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$) de forrajes en tres épocas del año en cinco ranchos del sureste de México.

Época del año	Ranchos					EEM*	Valor de P
	1	2	3	4	5		
Época de nortes	24.49 ^c	32.98 ^a	19.43 ^d	30.73 ^{ab}	26.12 ^{bc}	3.0	<0.0001
Época seca	14.38 ^b	20.94 ^a	13.70 ^b	16.49 ^b	15.49 ^b	8.7	0.0028
Época de lluvias	26.87 ^b	35.79 ^{ab}	44.09 ^a	31.49 ^b	35.93 ^{ab}	3.3	<0.0001

^{abc}Medias en la misma fila sin una letra en común son diferentes ($p\leq 0.05$)

*EEM= error estándar de la media.

Los forrajes en la época de lluvias tuvieron 30 y 115% más TC que en la época de nortes y secas, respectivamente. La menor TC en la época seca corresponde a la baja disponibilidad de agua para las plantas lo que limita su crecimiento. De acuerdo a Azcón-Bieto y Talón (2008), McKenzie *et al.* (1999) y Huerta (1997), la frecuencia y distribución de las lluvias, la cantidad de la radiación incidente sobre las praderas, la temperatura ambiental y nutrición de minerales son factores que afectan directamente la tasa de fotosíntesis.

La producción de biomasa se lleva a cabo mediante la transformación de la radiación en energía química (NADPH y ATP) que se utiliza para reducir el dióxido de carbono a sacarosa en el proceso enzimático del ciclo de Calvin (Salisbury y Ross, 1992). Este proceso ocurre en cada ciclo de crecimiento en una pradera, siempre regulado por las condiciones atmosféricas, originando cambios en la magnitud de la tasa de crecimientos según la cantidad de irradiación solar que incide en la parcela y la temperatura ambiental a la cual crecen las plantas (McKenzie *et al.*, 1999). La fotosíntesis es fuertemente influenciada por la humedad disponible, el nivel de fertilidad y propiedades físicas del suelo en la pradera (Matthew *et al.*, 2001; Moliterno, 2002).

La interacción mes*especie forrajera se debió a que en el mes de enero *B. brizantha* presentó mayor TC ($p \geq 0.05$), comparado con el resto de las especies; en abril y mayo fue *B. humidicola* la especie con mayor TC; mientras en julio *B. híbrida* presentó mayor ($p \leq 0.05$) TC que las demás especies forrajeras.

En el Cuadro 36 se presentan la TC y PAMS de los forrajes. Hay una marcada estacionalidad en TC de todas las especies, siendo en los meses con mayor precipitación pluvial (junio, julio, agosto y septiembre) cuando se presenta el mayor crecimiento de los forrajes. Otros ejemplos de la estacionalidad de la producción forrajera cuando los pastos pasan de la época de mínima precipitación a la época de máxima precipitación es lo mencionado por Ayala y Basulto (1992), donde el *Andropogon gayanus* incrementó su producción de MS de 2.26 a 11.34 ton ha⁻¹, en *Brachiaria dictyoneura* de 1.99 a 10.99 ton ha⁻¹, en *B. humidicola* de 1.91 a 7.81 ton ha⁻¹, en *B. decumbens* de 1.63 a 5.17 ton ha⁻¹, en *B. ruziziensis* de 1.07 a 4.17 ton ha⁻¹, en *P. maximum* de 1.24 a 5.21 ton ha⁻¹, y en *Cynodon nlemfuensis* de 0.97 a 3.52 ton ha⁻¹. De acuerdo con Juárez (2005), estos cambios en la producción de MS de forraje de estos pastos muestran el efecto del medio ambiente, ya que un mismo pasto modifica su producción al pasar de una condición ambiental a otra como en el caso de la época del año y la fertilización.

Cuadro 36. Tasa de crecimiento (kg MS ha⁻¹ d⁻¹) y producción anual de materia seca (kg ha⁻¹) de cuatro especies forrajeras en el sureste de México.

Fecha de corte	Especie forrajera				EEM*	Valor de P
	<i>B. brizantha</i>	<i>B. humidicola</i>	<i>B. hibrida</i>	<i>P. notatum</i>		
05-oct-12	26.66 ^a	36.99 ^a	28.13 ^a	32.87 ^a	3.03	0.0753
02-nov-12	32.28 ^a	29.69 ^a	23.46 ^a	26.23 ^a	2.91	0.2307
06-dic-12	26.27 ^a	28.19 ^a	27.98 ^a	22.71 ^a	2.56	0.1184
04-ene-13	25.85 ^a	24.83 ^{ab}	18.33 ^b	18.59 ^b	1.72	0.001
07-feb-13	23.92 ^a	25.30 ^a	17.17 ^a	17.21 ^a	2.83	0.0211
07-mar-13	21.08 ^a	20.43 ^a	17.76 ^a	17.24 ^a	2.04	0.2856
05-abr-13	12.44 ^{ab}	16.87 ^a	10.44 ^b	13.95 ^{ab}	1.34	0.0106
03-may-13	10.34 ^b	14.25 ^a	10.73 ^b	10.30 ^b	0.62	<.0001
05-jun-13	18.18 ^a	25.34 ^a	14.96 ^a	21.09 ^a	4.29	0.3538
05-jul-13	37.13 ^{ab}	27.58 ^{ab}	43.59 ^a	26.20 ^b	4.22	0.0217
02-ago-13	53.89 ^a	55.65 ^a	51.65 ^a	52.46 ^a	5.71	0.9301
05-sep-13	36.32 ^a	27.01 ^a	31.72 ^a	40.11 ^a	4.53	0.0311
PAMS**	9377 ^a	8577 ^a	9601 ^a	8651 ^a	330	0.0092

^{abc}Medias en la misma fila sin una letra en común son diferentes ($p \leq 0.05$)

*EEM= error estándar de la media; **PAMS= Producción anual de materia seca.

En general, las Brachiarias de los ranchos 2 y 5 produjeron menos MS (9,185 kg ha⁻¹) que los 15,182 kg ha⁻¹ reportados por Arteaga (2014). Sin embargo, las gramas nativas en este estudio tuvieron una mayor producción anual de MS (8,651 kg ha⁻¹) que lo reportado por ese mismo autor (7,707 kg ha⁻¹).

9.6 CONCLUSIONES

La producción de forraje en el trópico húmedo mexicano es afectada por el mes y la época del año, ya que los forrajes, en los meses de la época de lluvias, tuvieron 82 y 121% más altura que en la época de nortes y época seca, respectivamente; asimismo, los forrajes en la época de lluvias tuvieron 30 y 115% más peso seco acumulado (PSA) y mayor tasa de crecimiento (TC) que en la época de nortes y secas, respectivamente.

9.7 LITERATURA CITADA

Adesogan, A. T.; Givens, D. I. and Owen, E. 2000. Measuring chemical composition and nutritive value in forages. In: Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Research. Wallingford: CABI Publishing. UK. pp: 263-278.

- Améndola-Massiotti, R.; Cach-Gómez, I.; Álvarez-Sánchez, E.; López-Cruz, I.; Burgueño-Ferreira, J.; Martínez-Hernández, P.; y Cristóbal-Acevedo, D. 2011. Balance de nitrógeno en maíz forrajero con diferente fertilización y fase de rotación con praderas. *Agrociencia*. 45(2):177-193.
- Arteaga, C. V. 2014. Estado nutricional del ganado y acumulación de forraje en una unidad de producción de becerros. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 91 p.
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2008. Fundamentos de fisiología vegetal. 2ª Ed. Interamericana-McGraw-Hill. 522 p.
- Castillo, E. G.; Valles, M. B. y Jarillo, R. J. 2009. Relación entre materia seca presente y altura en gramas nativas del trópico mexicano. *Técnica Pecuaria en México*. 47(1):79-92.
- Chapman, D. F. and Lemaire, G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. *In: International Grassland Congress*. 17:95-104.
- Cruz, H. A.; Hernández, G. A.; Enríquez, Q. J. F.; Gómez, V. A.; Ortega, J. E. y Maldonado, G. N. M. 2011. Producción de forraje y composición morfológica del pasto Mulato (*Brachiaria hybrida* 36061) sometido a diferentes regímenes de pastoreo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2(4):429-443.
- Dat, J. F.; Lopez-Delgado, H.; Foyer, C. H. and Scott, I. M. 1998. Parallel changes in H₂O₂ and catalase during thermo tolerance induced by salicylic acid or heat acclimation in mustard seedlings. *Journal of Plant Physiology*. 116:1351-1357.
- Escobedo, M. J. G. 1989. Estudios agronómicos y valor nutritivo del pasto Guinea (*Panicum maximum*) en la zona ganadera del Estado de Yucatán. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. 124 p.
- Gray, M. H.; Korte, C. J. and Christieson, W. M. 1987. Seasonal distribution of pasture production in New Zealand, XX. Waerengaokuri (Gisborne). *New Zealand Journal Experimental Agriculture*. 15:397-404.
- Hodgson, J. 1990. *Grazing Management: Science into Practice*. Longman Group Ltd. United Kingdom. 203 pp.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2009. *Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Catazajá, Chiapas. Clave geoestadística 07016. 9 p.
- Jagtap, V. and Bhargava, S. 1995. Variation in antioxidant metabolism of drought tolerant and drought susceptible varieties of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Exposed to high light, low water and high temperature stress. *Journal of Plant Physiology*. 145(1-2):195-197.
- Jarillo-Rodríguez, J.; Castillo-Gallegos, E.; Flores-Garrido, A. F.; Valles-de la Mora, B.; Ramírez, L.; Avilés, L.; Escobar-Hernández, R. and Ocaña-Zavaleta, E. 2011. Forage yield, quality and utilization efficiency on native pastures under different stocking rates and seasons of the year in the Mexican humid tropic. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 13:417-427.
- Juárez, H. J. 2005. Estudio agrofisiológico y nutricional de la producción de materia seca y contenido de proteína en pastos tropicales. Tesis de Doctorado. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara, Cuba. 109 p.

- Juárez, H. J.; Bolaños-Aguilar, E. D. and Reinoso, P. M. 2004. Content of protein per unit of dry matter accumulated in tropical pastures. Winter. Cuban Journal Agricultural Science. 38(4):415-422.
- Lopes, M. N.; Pompeu, R. C. F. F.; Cândido, M. J. D.; Lacerda, C. F. D.; Silva, R. G. D. and Fernandes, F. R. B. 2011. Growth index in massai grass under different levels of nitrogen fertilization. Revista Brasileira de Zootecnia. 40(12):2666-2672.
- Mannetje, L. and Jones, R. M. 2000. Measuring biomass of grassland vegetation. In: Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Research. Wallingford: CABI Publishing, UK. pp: 151-177.
- Matthew, C.; Van Loo, E. N.; Tom, E. R.; Dawson, L. A. and Care, D. A. 2001. Understanding shoot and root development. Proceedings of the XIX International Grassland Congress. Sao Paulo, Brasil. pp: 19-27.
- McKenzie, B. A.; Kemp, P. D.; Moot, D. J.; Matthew, C. and Lucas, R. L. 1999. Environmental effects on plant growth and development. In: New Zealand Pastures and Crop Science. Oxford University Press. 323 p.
- Moliterno, E. A. 2002. Variables básicas que define el comportamiento productivo de mezclas forrajeras en su primer año. Agrociencia. 6(1):40-52.
- Nurjaya, I. G. M. O. and Tow, P. G. 2001. Genotype and environmental adaptation as regulators of competitiveness. In: Phillip, G. and Alec Lazenby (eds.). Competition and succession in pastures. CABI Publishing. Wallingford UK. pp: 43-62.
- Pérez-Prieto, L. A. and Delagarde, R. 2012. Meta-analysis of the effect of pregrazing pasture mass on pasture intake, milk production, and grazing behavior of dairy cows strip-grazing temperate grasslands. Journal of Dairy Science. 95:5317-5330.
- Peters, M.; Franco, L.; Schmidt, A. e Hincapié, B. 2003. Especies Forrajeras Multipropósito: Opciones para productores de Centroamérica. Publicación CIAT. No. 333. 113 p.
- Quero, C. A. R.; Enríquez, Q. J. F. y Miranda, J. L. 2007. Evaluación de especies forrajeras en América Tropical, avances o status quo. Interciencia. 32(38):566-571.
- Ramírez, R. O.; Hernández, G. A.; Carneiro, Da S. S.; Pérez, P. J.; Enríquez, Q. J. F.; Quero, C. A. R.; Herrera, H. J. G. y Cervantes, N. A. 2009. Acumulación de forraje, crecimiento y características estructurales del pasto Mombaza (*Panicum maximum* Jacq.) cosechado a diferentes intervalos de corte. Técnica Pecuaria en México. 47:203-213.
- Salisbury, F. B. and Ross, C. W. 1992. Plant Physiology, Fourth Edition. California: Wadsworth Publishing Company. 682 p.
- SAS. 2004. SAS/STAT 9.1. User's Guide. Vol. 1-7. SAS Publishing. Cary, NC, USA. 5180 p.
- Steel, R. G. D.; Torrie, J. H. and Dickey, D. A. 1997. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 3rd ed. McGraw-Hill Series in Probability and Statistics. USA.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2002. Plant physiology. 3rd Ed. Sunderland (USA): Sinauer Associates Inc. 690 pp.
- Tamayo, J. L. 1989. Geografía moderna de México. 9ª Edición. Trillas. D. F. México. 544 p.
- Velasco, Z. M. E. 2001. Dinámica de crecimiento, rendimiento y calidad de praderas de *Lolium perenne* L. y *Dactylis glomerata* L. en respuesta a la defoliación. Tesis doctoral. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Estado de México, México.

- Velasco, Z. M. E.; Hernández-Garay, A.; González, H. V. A.; Pérez, P. J.; Vaquera, H. H y Galvis, S. A. 2001. Curva de crecimiento y acumulación estacional del pasto Ovillo (*Dactylis glomerata* L.). Técnica Pecuaria en México. 39(1):1-14.
- Villarreal-Castro, M. 1994. Valor nutritivo de gramíneas y leguminosas forrajeras en San Carlos, Costa Rica. Nutritive value of feed grasses and legumes in San Carlos, Costa Rica. Pasturas

CAPÍTULO 8

10 CALIDAD NUTRIMENTAL DE FORRAJES EN CONDICIONES DE TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO

**Juan Carlos Muñoz-González¹, Maximino Huerta-Bravo², Alejandro Lara Bueno^{2*},
Raymundo Rangel Santos², Jorge Luis de la Rosa Arana³**

¹Estudiante del Doctorado en Ciencias en Innovación Ganadera de la Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, Km 38.5, Chapingo, Estado de México, CP 56230. México. Tel: 595 952 1621. Email: agronojuan@hotmail.com

²Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Zootecnia. Posgrado en Producción Animal. Carretera México-Texcoco, Km 38.5, Chapingo, Estado de México, CP 56230. México. Tel: 595 952 1621. Email: (MHB) mhuertab@taurus.chapingo.mx; (ALB) alarab_11@hotmail.com; (RRS) rangelr@correo.chapingo.mx

³Secretaría de Salud de México. Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos. Francisco de Paula Miranda 117, México D.F., CP 01480. México. Tel: 555 062 1600. Email: (JLRA) jorgeluis.delarosa@yahoo.com

***Autor para Correspondencia:** Email: alarab_11@hotmail.com

10.1 RESUMEN

Con el objetivo de determinar la calidad nutrimental de los forrajes en un sistema de producción de bovinos doble propósito en el sureste de México, se tomaron muestras de forrajes utilizando jaulas de exclusión y del forraje disponible en la pradera mediante Hand Plucking para determinar: contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y los minerales cobre (Cu), hierro (Fe), cinc (Zn), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), potasio (K) y fósforo (P) en cinco ranchos ganaderos del trópico húmedo de Chiapas, a través del año. El análisis de los datos consideró los efectos fijos de rancho, mes del año, época del año, especie forrajera y técnica de muestreo utilizada. Hubo diferencias ($p \leq 0.05$) entre ranchos y épocas del año en el contenido de PC, FDN, FDA y entre ranchos en el contenido de minerales; hubo diferencias ($p \leq 0.05$) entre los meses del año y entre especies forrajeras en el contenido de FDN y FDA, y diferencias ($p \leq 0.05$) en los contenidos de PC, FDN, FDA, Cu, Zn, Mg, Na y K entre las técnicas de muestreo utilizadas. Se concluye que la calidad nutrimental de los forrajes es afectada por la época del año, siendo la época de lluvias y nortes donde se da el mayor contenido de FDN, pero con menores contenidos de PC y FDA. El 100, 28 y 72 % de las muestras de forrajes tuvieron valores por abajo del nivel mínimo de Cu, Zn y P, respectivamente.

Los forrajes colectados en las jaulas de exclusión tuvieron 6, 10, 23, 11 y 53% más PC, FDA, Cu, Zn y Na, respectivamente, que los forrajes disponibles en la pradera.

Palabras clave: Bovinos, doble propósito, tasa de crecimiento, épocas del año.

NUTRIMENTAL QUALITY OF FORAGE IN TROPIC HUMID CONDITION OF MEXICO

10.2 ABSTRACT

The objective was to determine the amount and nutritional quality of forage production in dual purpose cattle system in southeastern Mexico. Forage samples were taken using exclusion cages and forage available at the meadow by Hand Plucking to determine content of crude protein (CP), acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF) and minerals copper (Cu), iron (Fe), zinc (Zn), calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na), potassium (K) and phosphorus (P) in forages of five ranches in the northeastern of Chiapas state, throughout the year. The model for data analysis considered the fixed effects ranch, month and season year, forages species and sampling technique used. The effects of ranch and seasons were significant ($p \leq 0.05$) for CP, NDF, FDA, and between ranches for mineral content. Month and forage species affected ($p < 0.005$) content of NDF and ADF. Differences in sampling techniques were significant ($p < 0.05$) for content of PC, FDN, FDA, Cu, Zn, Mg, Na and K. Forages in the “nortes” and rains seasons were higher, and had greater ADW, RG and production of NDF, as well as lower content of CP and ADF than those of the dry season. One hundred, 28 and 72% of forage samples were deficient in Cu, Zn and P, respectively. It was concluded that the nutritional quality of forages in humid tropical conditions is affected by season.

Key Word: Cattle, dual purpose, rate of growth, seasons.

10.3 INTRODUCCIÓN

En el trópico húmedo del sureste de México se presentan tres épocas del año bien definidas que son: época de lluvias (junio-septiembre), “nortes” (octubre-enero) y secas (febrero-mayo), las cuales afectan la cantidad y calidad del forraje. Gray *et al.* (1987) mencionan que el conocimiento de cómo se distribuye la producción y la calidad de los forrajes durante el año, es una herramienta para planear su utilización. Adesogan *et al.* (2000) indican que la composición química de los forrajes varía con la edad fisiológica, tiempo de pastoreo o de cosecha, especie y variedad de las pasturas, grado de contaminación y la fracción botánica; mientras que, Jarillo-Rodríguez *et al.* (2011) sugieren a la época del año como principal factor que afecta la calidad nutritiva del forraje, sobre todo en la temporada de lluvias, debido a la alta producción de forraje y al aumento en el contenido de pared celular, con lo que disminuye el contenido de proteína y la digestibilidad de la pared celular.

Por otro lado, McDowell (1985) ha resaltado que en las áreas tropicales existen amplias deficiencias de minerales, desbalances y toxicidades siendo el Cu y P los más limitantes en la producción ganadera. De acuerdo con McDowell y Arthington (2005), la evaluación del estado mineral en el ganado y de las fuentes de donde los adquiere (agua, suelo, forraje y suplementos), permite proponer alternativas para la corrección de las deficiencias minerales bajo condiciones específicas. Asimismo, estudios realizados en México (Morales *et al.*, 2007; Domínguez y Huerta 2008; Vazquez *et al.*, 2011 y Vieyra-Aberto *et al.*, 2013) destacan la importancia de la evaluación mineral para identificar los desbalances de minerales y sus interrelaciones, ya que los factores relacionados con el suelo, la planta y los animales pueden afectar la concentración y disponibilidad de los minerales, causando desequilibrios en los requerimientos de los animales.

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar el contenido de proteína cruda, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido y minerales de los forrajes estudiados en un

sistema de producción de bovinos de doble propósito en pastoreo para detectar las épocas críticas y las limitantes en cuanto a la calidad del forraje ofrecido y proponer medidas correctivas.

10.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y características del área de estudio

El trabajo se realizó de octubre del 2012 a septiembre de 2013 en cinco ranchos ganaderos con un sistema de producción de bovinos doble propósito en pastoreo, situados en el ejido Punta Arenas, Municipio de Catazajá, Chiapas, México. Esta comunidad está ubicada entre las coordenadas 17°46'50"N con 92°06'50"O y 17°43'13"N con 92°01'03"O, con clima cálido húmedo con lluvias todo el año (Af) (57.41%) y cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Aw) (42.59%), con precipitación promedio anual de 2600 mm (Tamayo 1985) y temperatura media anual de 26 °C (INEGI 2009), con alturas que van de 9 a 10 msnm. La región se caracteriza por tener tres épocas en el año bien definidas similares a las descritas por Escobedo (1989) que son la época de "nortes" (octubre a enero) con bajas temperaturas y cielo nublado, la época de lluvias de moderadas a intensas (junio a septiembre), y la época seca (febrero a mayo) con falta de humedad, mayor irradiación solar y temperaturas elevadas. Los forrajes predominantes en los potreros son: *Paspalum notatum* (ranchos 1, 3 y 4), *Brachiaria humidicola* (Rancho 2), *Brachiaria brizantha* y *Brachiaria híbrida* (Rancho 5).

Obtención de muestras

En todos los ranchos ganaderos se tomaron muestras de forraje utilizando jaulas de exclusión considerando el procedimiento propuesto por Mannetje y Jones (2000); también se tomaron muestras del forraje disponible en las praderas para el pastoreo de los animales mediante

muestreo manual dirigido “Hand Plucking” (Le Du y Penning, 1982) para compararlas con la composición nutrimental de las jaulas de exclusión.

Obtención de muestras de forrajes mediante jaulas de exclusión: Se utilizaron 30 jaulas de exclusión de 0.5 m de ancho x 1 m de largo x 1 m de alto hechas con varilla corrugada de media pulgada de grosor recubierta de malla metálica. La ubicación de las jaulas consideró la variación de la altura del forraje seleccionando tres estratos: bajo, medio y alto, colocando aleatoriamente dos jaulas de exclusión por cada estrato, para un total de seis jaulas por cada rancho ganadero. Antes de comenzar el muestreo (30 días antes), se cortó el forraje en el área de la jaula de exclusión a una altura de 2 a 3 cm del suelo (Pérez-Prieto y Delegarde, 2012), posteriormente las muestras de forraje se cortaron a la misma altura cada 30 días utilizando un cuadrante de 0.25 m² dentro de la jaula, después se cortó el forraje restante a la misma altura dentro y alrededor de la jaula de exclusión para evitar interferencia de luz solar del forraje adyacente. El forraje cosechado mensualmente en las jaulas de exclusión se utilizó para analizar el contenido de FDN y FDA, mientras el forraje cosechado durante los meses de septiembre (lluvias), enero (nortes) y mayo (secas) se utilizó para determinar el contenido de PC y minerales.

Obtención de muestras de forraje mediante Hand Plucking: esta técnica se llevó a cabo simulando la actividad de pastoreo del ganado (Fick *et al.*, 1979) colectándose cinco muestras de 400 g de forraje en cada rancho durante los meses de septiembre (lluvias), enero (nortes) y mayo (secas) para determinar el contenido de PC, FDN, FDA y minerales.

Las muestras de forraje fueron colocadas en bolsa de papel y fueron pesadas en una báscula digital. Posteriormente, el forraje colectado fue secado en una estufa de aire forzado a 65 °C durante 48 horas; las muestras secas de forraje se pesaron para determinar el peso seco de cada muestra, se molieron en un molino de martillo y luego en un molino de aspas (Wiley) con criba de 1 mm (Fick *et al.*, 1979), y se almacenaron en bolsas de plástico para las determinaciones de

PC, FDN, FDA y los minerales Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y P. Adicionalmente, se tomaron los datos de precipitación pluvial (PP) y temperatura (T) de la estación meteorológica ubicada en la ciudad de Catazajá, Chiapas a cargo del departamento de Protección Civil Municipal (Figura 16).

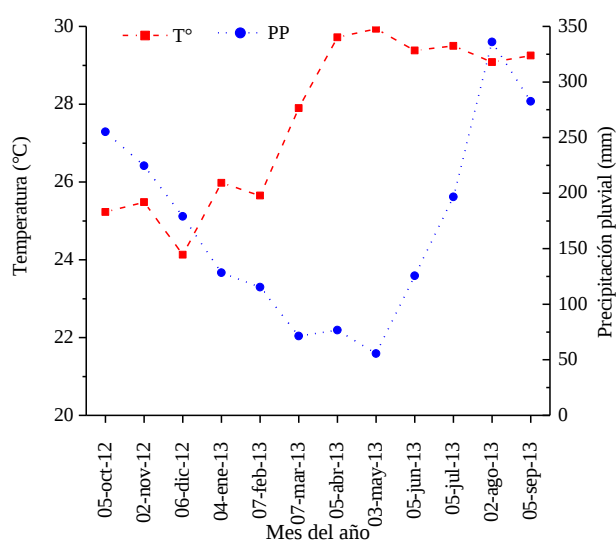


Figura 16. Temperatura (T°) y precipitación pluvial (PP) durante el periodo de estudios en Catazajá, Chiapas.

Análisis de laboratorio

El análisis de PC, FDN, FDA y minerales en el forraje se realizó en el Laboratorio de Nutrición de Rumiantes del Posgrado en Producción Animal de la Universidad Autónoma Chapingo. Para obtener el valor equivalente al contenido de PC, se determinó el contenido de nitrógeno (N) del forraje con un Analizador 2400 Series II CHNS/O, marca Perkin-Elmer en modo CHN. Posteriormente, el contenido de N fue multiplicado por 6.25 para obtener así el porcentaje de proteína total de la muestra (AOAC, 1995).

El contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) de las muestras de forraje colectadas se determinó mediante el procedimiento descrito por Van Soest *et al.* (1991).

Las concentraciones de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na y K en el forraje se determinaron mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica utilizando un espectrofotómetro de la marca Perkin Elmer modelo AAnalyst 700 de acuerdo con los procedimientos de Perkin-Elmer (1996). El contenido de fósforo (P) se determinó mediante el método colorimétrico (Fick *et al.*, 1979; Clesceri *et al.*, 1992) utilizando el espectrómetro de luz ultravioleta-visible de marca Perkin Elmer modelo Lambda 2. Las muestras de forraje usadas para el análisis de PC y minerales correspondieron a muestras compuestas al conjuntar muestras de forraje de cada época del año; se juntaron muestras para la época de nortes, época de secas, y época de lluvias. Para la determinación de FDN y FDA se utilizaron las muestras de forraje colectadas mensualmente.

Análisis estadísticos

Los datos de PC, FDN, FDA y minerales se analizaron mediante el modelo lineal general (GLM) del programa SAS (2004) para un diseño completamente al azar. El modelo estadístico para los datos de FDN y FDA de los forrajes cosechados en jaulas de exclusión consideró los efectos de rancho (R_i) [1, 2, 3, 4, 5], mes del año (M_j) [octubre, noviembre...septiembre], época del año (E_k) [nortes, secas, lluvias], especie forrajera (S_l) [*B. brizantha*, *B. humidicola*, *B. híbrido*, *P. notatum*] y las interacciones ($R*M_{ij}$), ($R*E_{ik}$), ($R*S_{il}$), ($M*S_{jl}$) y ($E*S_{ks}$); en los datos de PC se consideraron los efectos de rancho, época del año y especie forrajera; para los datos de minerales se consideró el efecto de rancho ganadero. Los datos del forraje disponible en las praderas cosechado mediante Hand Plucking se utilizaron para compararlos con los contenidos de PC, FDN, FDA y minerales de los forrajes de las jaulas de exclusión. Se utilizó la prueba de Tukey (Steel *et al.*, 1997) para la comparación de medias de tratamientos.

10.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición nutrimental de los forrajes en jaulas de exclusión

Hubo diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) en el contenido de PC entre los épocas del año y especie forrajera. En el Cuadro 37 se presentan los valores de PC y fibras de los ranchos y especies forrajeras evaluadas.

Respecto a PC, Muchovej y Mullahey (1997) reportan contenidos de PC en un rango de 9.80 a 11.0% en *P. notatum* que son similares a los contenidos de PC en los ranchos 1, 3 y 4, donde *P. notatum* es el forraje dominante. Martín (1998) para el genotipo *Brizantha spp.* reporta un rango de 4 a 14.9% de PC.

Cuadro 37. Contenido de proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) de cuatro especies forrajeras colectadas en jaulas de exclusión en cinco ranchos del sureste de México.

Efecto	Componente		
	PC	FDN	FDA
Rancho	-----% de la MS-----		
1	11.28 ^a	62.64 ^{ab}	33.05 ^b
2	10.36 ^a	64.62 ^a	32.57 ^b
3	11.21 ^a	62.41 ^{ab}	33.76 ^b
4	10.62 ^a	62.67 ^{ab}	33.58 ^b
5	12.28 ^a	60.97 ^b	37.88 ^a
EEM*	0.70	0.11	0.11
Especie			
<i>B. brizantha</i>	12.03 ^a	65.93 ^c	32.30 ^c
<i>B. humidicola</i>	10.08 ^b	68.43 ^a	34.87 ^a
<i>B. hibrida</i>	12.53 ^a	64.28 ^d	32.68 ^c
<i>P. notatum</i>	11.54 ^{ab}	67.27 ^b	34.08 ^b
EEM*	0.66	0.13	0.13

^{abc}Medias en la misma columna sin una literal en común son diferentes ($p \leq 0.05$)

*EEM= error estándar de la media.

De acuerdo a Gates *et al.* (2001), *P. notatum* es una de las especies de mayor importancia económica en la ganadería por su alto valor nutritivo, producto de su elevada proporción hoja/tallo, así como también por su capacidad para tolerar bajas temperaturas mediante la selección que ha buscado mejorar su adaptación a este tipo de estrés, además de que este pasto

permite una adecuada producción animal principalmente en la época de nortes (octubre a febrero) en el sureste de México (Juárez *et al.*, 2004).

Los mayores contenidos de FDN lo presentó el Rancho 2, el cual tuvo una mayor producción de MS a través del año. Lemaire y Salette (1984) mencionan que hay una la relación negativa entre la producción de forraje y el contenido de proteína por lo que es necesario considerar simultáneamente ambas variables. Los contenidos de PC para los ranchos 1, 3, y 4 con *P. notatum* como forraje predominante en las praderas, se encuentran en el rango encontrado por Jarillo-Rodríguez *et al.* (2011) quienes reportan para *Axonopus spp.* y *Paspalum spp.* contenidos de PC de 8.2-15.25%, FDN de 61.8-70.8% y de FDA de 32.1-43.8% en el trópico mexicano; mientras Ortega-Gómez *et al.* (2011) reporta contenidos de PC de 7.6%, FDN de 73% y FDA de 42.8% para *Brachiarias spp.* De Vargas *et al.* (2013) reportan contenidos de PC de 10.3-13.0%, FDN de 64.6-66.4% y FDA de 30.4-33.7% para *B. híbrida*. De acuerdo con estos resultados, el Rancho 5 con *B. brizantha* y *B. híbrida* como pastos dominantes en la pradera, puede considerarse como el de mayor calidad, con respecto al forraje del resto de los ranchos, debido a su mayor contenido de PC y menor contenido de FDN, lo contrario al Rancho 2 por su mayor contenido de FDN. Según Taiz y Zeiger (2002) y Venuto *et al.* (2003), las diferencias entre hábitos de crecimiento, morfología y metabolismo carbonado, determinan entre otros factores la variabilidad en el contenido de proteína de los pastos.

La época afectó ($p \leq 0.001$) el contenido de PC. En la Figura 17 se presenta el contenido de PC en los forrajes de las épocas del año estudiadas.

El contenido de PC fue mayor ($p \leq 0.05$) en la época seca (13.93%), respecto a la época de nortes (10.80%) y lluvias (9.26%), lo que significa que los forrajes en la época seca tuvieron 39 y 40% más PC que los forrajes en la época de nortes y lluvias, respectivamente.

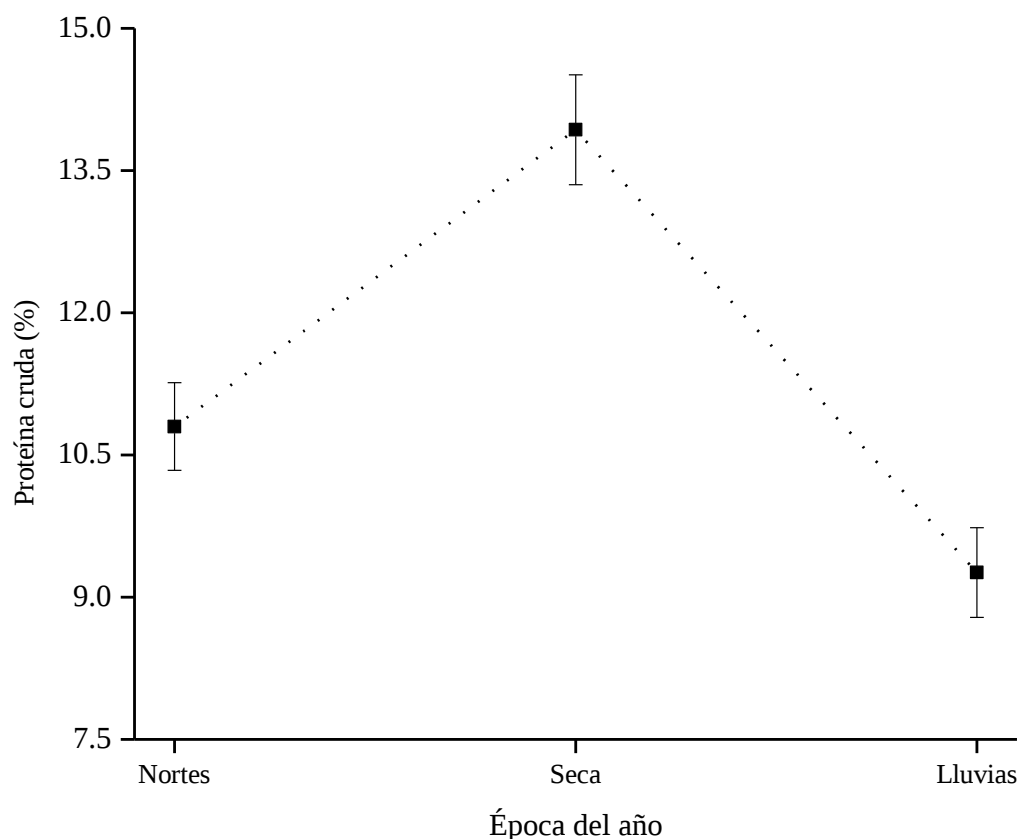


Figura 17. Contenido de proteína cruda (PC) en forrajes en tres épocas del año en el sureste de México.

Arteaga (2014) encontró contenidos diferentes de PC respecto al presente estudio en el orden de 14.63, 11.05, y 14.35% para la época de nortes, lluvias y secas respectivamente, sin embargo, coincide en que los mayores niveles de PC se presentan en la época seca. Así, se puede sugerir que la calidad del pasto, respecto a su contenido de PC disminuye en la época de lluvias lo cual puede ser asociado con el crecimiento rápido del pasto en esta época. Greenwood *et al.* (1990) y Marino *et al.* (2004) entre otros han denominado a dicho fenómeno “dilución del nitrógeno (N)”, o dilución de la proteína ($N \times 6.25$).

Los resultados de este estudio concuerdan con lo mencionado por Lorenzo *et al.* (2012) quienes mencionan que en el período de lluvia se produce un proceso de dilución de N, en el cual la relación de la PC con otros componentes de la MS disminuye, debido al crecimiento alcanzado

por el pasto, por las condiciones favorable de luz, temperatura y humedad de la época de lluvias. Así, en este caso la dilución de la proteína puede atribuirse al incremento de la producción de MS en la época de lluvias, lo que pudo incrementar el porcentaje de tallos y de pared celular, ya que son elementos que afectan, la digestibilidad y PC de los pastos (Jarillo-Rodríguez *et al.*, 2011). Sin embargo, Cuadrado *et al.* (2005) reportan contenidos de PC de 9.8% en época de lluvias y 7.8% en la época seca en *B. Híbrida* y de 8.3% en la época de lluvias 7.2% en la época seca en *B. decumbens* en el Valle del Sinú, Colombia.

Hubo diferencias ($p \leq 0.05$) entre los meses y épocas del año en el contenido de FDN y FDA en los forrajes estudiados. En las Figuras 18 y 19 se presentan los contenidos de FDN y FDA a través de los meses y épocas del año. Como se observa, los valores más altos de FDN se presentaron en los meses de la época de lluvias (65.79%), seguidos de los meses de la época de nortes (63.48%) y los meses de la época seca (58.73%), lo que indica que los forrajes en la época de lluvias tuvieron 4 y 12% más FDN que en la época de nortes y seca, respectivamente.

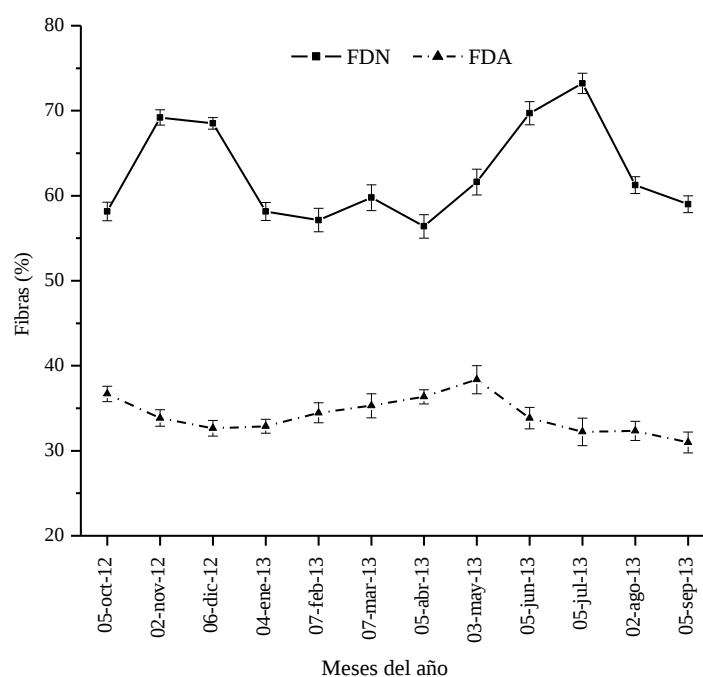


Figura 18. Contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) en forrajes a través del año en el sureste de México.

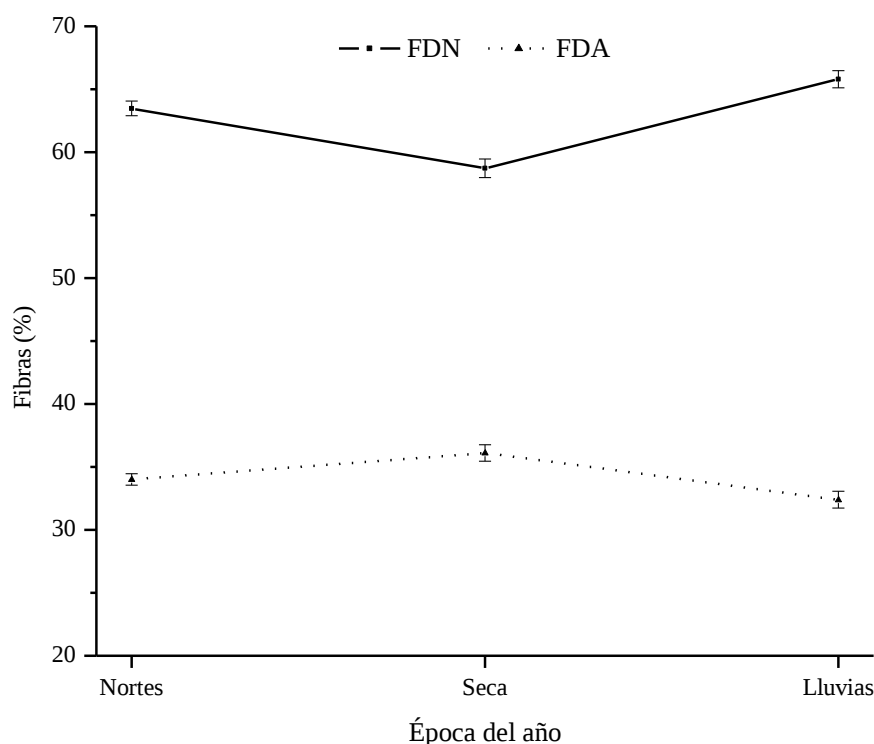


Figura 19. Contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) en forrajes en tres épocas del año en el sureste de México.

FDA fue mayor en los meses de la época seca (36.12%), seguido de los meses de la época de nortes (34.02%) y los meses de la época de lluvias (32.35%), lo que representa que en la época seca los forrajes tuvieron 6 y 12% más FDA que en la época de nortes y lluvias, respectivamente; en general, en los meses de noviembre (69.20%) y diciembre (68.51%) correspondientes a la época de nortes, y los meses de junio (69.70%) y julio (73.21%) correspondientes a la época de lluvias fue cuando se presentaron los mayores contenidos de FDN y las menores cantidades de FDA.

La cantidad de FDN y FDA son diferentes a los mencionados por Cuadrado *et al.* (2005) quienes reportaron contenidos de 62.5% de FDN en la época de lluvias y de 64.4% en la época seca; y contenidos de 40.1% de FDA en la época de lluvias y de 43.2% en la época seca en *B. hybrida*; mientras para *B. decumbens* reportan 52.7% de FDN en la época de lluvias y de 62.4% en la época seca; y contenidos de 46.9% de FDA en la época de lluvias y de 48.3% en la época seca

en el Valle del Sinú, Colombia. Igualmente, Garcés (2005) también reporta valores en pasto mulato de 62.5% de FND, 40.1% y 9.8% de FAD en Colombia.

Los resultados de este estudio son similares a los reportados por Arteaga (2014) quien reporta menores ($p<0.05$) contenidos de FDN en la época seca (59.77%), respecto a la época de lluvias (63.39%) y nortes (62.45%); sin embargo, no encontró diferencias ($p>0.05$) en el contenido de FDA en la época seca (32.50%), respecto a la época de lluvias (34.26%) y nortes (32.44%). De acuerdo a lo anterior, se infiere que la calidad de los forrajes disminuye en la época de lluvias y nortes. Respecto a la época de lluvias posiblemente se deba a las condiciones favorables para el mayor crecimiento de los forrajes y al aumento de la cantidad de tallos con el consecuente aumento de FDN (celulosa, hemicelulosa, lignina y cutina), que son componentes de la pared celular. Mientras para la época de nortes puede deberse al aumento de material muerto provocado por la humedad y la baja incidencia de luz solar con cielo nublado característico de esa época.

Hubo diferencias ($p\leq 0.05$) entre ranchos en las concentraciones de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y P (Cuadro 38).

Cuadro 38. Concentración mineral en forrajes protegidos con jaulas de exclusión en cinco ranchos en el sureste de México.

Efecto	Minerales							
	Cu	Fe	Zn	Ca	Mg	Na	K	P
Rancho	-----mg kg ⁻¹ -----			-----%-----				
1	6.23 ^{ab}	262 ^b	39 ^a	0.34 ^{bc}	0.26 ^{ab}	0.13 ^a	1.61 ^{bc}	0.20 ^c
2	5.27 ^c	321 ^a	30 ^b	0.32 ^c	0.26 ^b	0.10 ^b	2.10 ^a	0.23 ^a
3	6.34 ^a	261 ^b	39 ^a	0.37 ^a	0.27 ^{ab}	0.13 ^a	1.63 ^b	0.21 ^b
4	5.83 ^b	268 ^b	41 ^a	0.37 ^a	0.28 ^a	0.13 ^a	1.59 ^{bc}	0.20 ^c
5	6.50 ^a	266 ^b	37 ^a	0.36 ^{ab}	0.27 ^{ab}	0.13 ^a	1.54 ^c	0.18 ^d
EEM*	0.11	2.34	0.95	0.01	0.005	0.002	0.02	0.003
NM ⁽¹⁾	10	30	30	0.30	0.20	0.06	0.80	0.25
MT ⁽²⁾	40	500	500	1.50	0.60	1.60	3.0	0.70

^{abc}Medias en la misma columna sin una literal en común son diferentes ($p<0.05$)

*EEM= error estándar de la media; ⁽¹⁾Nivel mínimo en base a los requerimientos del ganado bovino (McDowell y Arthington, 2005)

⁽²⁾Niveles máximos tolerables de cada mineral en la dieta de bovinos (NRC, 2005).

Las diferencias en las concentraciones de minerales de los forrajes entre los ranchos pueden corresponder a las concentraciones de minerales en los suelos. En México se ha reportado una amplia variación del contenido mineral en los suelos de las regiones de clima tropical (Cabrera *et al.*, 2009) y clima templado (Domínguez y Huerta, 2008), así como en otras partes del mundo (Pereira *et al.*, 1997; Sharma *et al.*, 2003; Ndebele *et al.*, 2005) destacando niveles bajos de Cu y Zn y elevados de Fe, lo cual se refleja en la composición mineral del forraje que consumen los animales (Whitehead, 2000).

Muñoz-González *et al.* (2014) en la misma zona de estudio encontraron diferencias ($P < 0.0001$) entre las épocas del año en las concentraciones de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y P, siendo la época de lluvias donde se presentan las menores concentraciones de Cu, Fe, Zn, Mg y Na. Estos autores reportaron en la misma zona de estudio concentraciones de Cu, Fe y Zn de 4.93, 253 y 31 mg/kg y de Ca, Mg, Na, K y P de 0.31, 0.23, 0.09, 196 y 0.22%, respectivamente, para la época de lluvias; concentraciones de Cu, Fe y Zn de 6.37, 275 y 36 mg/kg; y de Ca, Mg, Na, K y P de 0.33, 0.25, 0.14, 1.73 y 0.21%, respectivamente, para la época de nortes; y concentraciones de Cu, Fe y Zn de 6.8, 298, 44 mg/kg y de Ca, Mg, Na, K y P de 0.42, 0.32, 0.15, 1.39 0.18%, respectivamente, para le época de secas. Domínguez-Vara y Huerta-Bravo (2008) reportaron concentraciones de Fe en forrajes más bajas durante la época lluvias (258 mg/kg) y más altas en la época seca (761 mg/kg) mientras que Vieyra-Alberto *et al.* (2013) reportan 114 y 149 mg/kg de Fe en forraje para las épocas de lluvias y secas, respectivamente, en la Huasteca Potosina, México. De acuerdo con Minson (1990) el incremento en el contenido de K y P en el forraje durante la época de lluvias y nortes se corresponde con la mayor acumulación de estos elementos durante el crecimiento activo de las pasturas en condiciones de mayor humedad en el suelo. Estos resultados son también congruentes con los reportados por Vieyra-Alberto *et al.* (2013) quienes obtuvieron en forrajes concentraciones menores de K y P (0.13 y 0.06 mg/kg) durante la época seca y de 0.17 y 0.07 mg/kg de K y P, respectivamente, en la época de lluvias.

En México, varios estudios han reportado efectos de la interacción entre la unidad de producción y la época del año en el perfil mineral de los forrajes. Domínguez-Vara y Huerta Bravo (2008) en el contenido de Cu, Zn, Mg, Na y P en forrajes de clima templado; Morales *et al.* (2007) analizando Fe, Zn y P también en forrajes de clima templado, y Muñoz-González *et al.* (2014) en la determinación de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, Na, K y P en forrajes del trópico húmedo mexicano.

De acuerdo con lo sugerido por McDowell y Arthington (2005) ninguno de los ranchos considerados en el presente estudio satisface los requisitos mínimos de Cu y P en el forraje para el ganado bovino. El 100, 28 y 72% de las muestras de forrajes tuvieron valores por debajo del nivel mínimo de Cu, Zn y P, respectivamente. Contrariamente, se tuvieron niveles elevados de Fe en las pasturas y el 7.6% de las muestras rebasaron los niveles máximos tolerables. Esto pudo deberse a cantidades altas de Fe en el suelo, lo que permitió que las plantas forrajeras presentes acumularan más Fe que el requerido por los bovinos (Kabata-Pendias, 2011). Según Weiss *et al.* (2010) más de 250 mg/kg de Fe en la dieta de bovinos incrementa el estrés oxidativo y disminuye el status del Cu, la salud, la producción, el consumo y la digestión de la fibra. Por otro lado, Genther y Hansen (2014) concluyen que las dietas bajas en Cu antagonizan con altos niveles de Fe y Mo, disminuyendo las reservas de Cu en el hígado.

Además de la variabilidad en el contenido mineral de los forrajes, se agrega la interferencia y antagonismo natural o provocado entre algunos elementos (como el Cu y Fe), como factores que limitan la disponibilidad de las fuentes minerales, afectando su valor nutritivo o promoviendo una potencial toxicidad por el exceso (Suttle, 2010).

Comparación nutrimental del forraje en jaulas de exclusión y disponible en la pradera.

Hubo diferencias ($p \leq 0.05$) entre los forrajes de las jaulas de exclusión y el forraje disponible en la pradera en los contenidos de PC, FDN, FDA, Cu, Zn, Mg y Na. Los forrajes colectados en las jaulas de exclusión tuvieron 6, 10, 23, 11 y 53% más PC, FDA, Cu, Zn y Na, respectivamente,

que los forrajes que probablemente consumieron los animales en la pradera colectados mediante Hand Plucking; mientras que los forrajes de la pradera tuvieron 18, 24 y 6% más FDN, Mg y K que los forrajes de las jaulas de exclusión (Cuadro 39).

Cuadro 39. Composición nutrimental de los forrajes colectados en jaulas de exclusión y Hand Plucking en el sureste de México.

Componente	Lugar de muestreo		EEM*	Pr>F
	Jaulas de exclusión	Disponible en la pradera		
PC	11.33 ^a	10.69 ^b	0.157	0.0013
FDN	62.67 ^b	74.16 ^a	0.962	<0.0001
FDA	34.16 ^a	31.10 ^b	0.860	0.012
Ca	0.35 ^a	0.35 ^a	0.008	0.8382
Mg	0.27 ^b	0.33 ^a	0.008	<0.0001
Na	0.12 ^a	0.08 ^b	0.003	<0.0001
K	1.69 ^b	1.80 ^a	0.035	0.0321
P	0.20 ^a	0.20 ^a	0.004	0.7468
Cu	6.03 ^a	4.90 ^b	0.138	<0.0001
Fe	276 ^a	277 ^a	3.131	0.6831
Zn	36.91 ^a	33.38 ^b	0.670	0.0002

^{abc}Medias en la misma fila sin una literal en común son diferentes ($p<0.05$); *EEM= error estándar de la media.

Arteaga (2014) encontró la misma tendencia en el contenido de PC, con mayores contenidos de PC en el forraje acumulado en jaulas de exclusión comparados con el forraje disponible para el apacentamiento en el oriente de Puebla, México.

Lo anterior indica las ventajas que proporciona el corte periódico del forraje, en este caso cada 30 días, en la composición nutrimental de los forrajes. De manera concreta se puede sugerir que la calidad nutrimental del forraje se incrementa cuando se corta de manera periódica, evitando la acumulación de material senescente con mayor contenido de pared celular de menor calidad, lo cual se puede lograr mediante una rotación adecuada de potreros para que los animales consuman forrajes de mejor calidad. De acuerdo con Dillon *et al.* (2005) el manejo del pastoreo es un factor clave en la determinación de la eficiencia de los sistemas lecheros basados en forrajes. Es reconocido como la principal herramienta para el control de la utilización del pasto y la producción por vaca, y alcanzar el equilibrio óptimo entre estos factores es el principal objetivo de las granjas lecheras tratando de lograr la máxima rentabilidad. Una cuestión

importante es, sin embargo, la falta de control sobre la calidad y disponibilidad de alimento durante todo el año.

CONCLUSIONES

La composición nutrimental de los forrajes en el trópico húmedo mexicano es afectada por la época del año, ya que el contenido de proteína cruda (PC) en los forrajes en la época seca fue 39 y 40% con más PC que los forrajes en la época de nortes y lluvias, respectivamente. Los valores más altos de fibra detergente neutro (FDN) se presentaron en la época de lluvias con 4 y 12% más FDN que en la época de nortes y secas, respectivamente; mientras que los forrajes en la época seca tuvieron 6 y 12% más fibra detergente ácido (FDA) que en la época de nortes y lluvias, respectivamente.

Existen deficiencias de cobre (Cu), cinc (Zn) y fósforo (P) en los forrajes estudiados ya que el 100, 28 y 72% de las muestras de forrajes tuvieron valores por debajo del nivel mínimo de Cu, Zn y P, respectivamente. Además se encontraron niveles elevados de Fe en las pasturas y el 7.6% de las muestras rebasaron los niveles máximos tolerables.

La calidad nutrimental de los forrajes se mejoró mediante el corte de los forrajes de manera periódica ya que los forrajes colectados en las jaulas de exclusión tuvieron 6, 10, 23, 11 y 53% más PC, FDA, Cu, Zn y Na, respectivamente, que los forrajes disponibles en la pradera.

10.6 LITERATURA CITADA

- Adesogan, A. T.; Givens, D. I. and Owen, E. 2000. Measuring chemical composition and nutritive value in forages. *In: Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Research*. Wallingford: CABI Publishing. UK. pp: 263-278.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Arlington Virginia. USA. 853 p.
- Arteaga, C. V. 2014. Estado nutricional del ganado y acumulación de forraje en una unidad de producción de becerros. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 91 p.

- Cabrera, T. E. J.; Sosa, R. E. E.; Castellanos, R. A. F.; Gutiérrez, B. A. O. y Ramírez, S. J. H. 2009. Comparación de la concentración mineral en forrajes y suelos de zonas ganaderas del Estado de Quintana Roo, México. *Veterinaria México*. (40):167-179
- Clesceri, S. L.; Greenberg, E. A. y Trusseli, R. R. 1992. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Ed. Díaz De Santos. España. pp: 4-187 y 4-195.
- Cuadrado, C. H.; Torregrosa, L. y Garcés, J. 2005. Producción de carne con machos de ceba en pastoreo del pasto híbrido Mulato y *B. decumbens* en el Valle del Sinú. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). Informe Mimeografiado. 9 p.
- De Vargas, F. M.; Socorro, M. M.; Setti, de A. J.; Pinto, G. S.; Martins C. F.; da Costa J. A. A.; Magrin, M. N.; Camilo, F. R. e Montagner, D. B. 2013. Disponibilidade e valor nutritivo de gramíneas tropicais sob pastejo com ovinos. *Archivos de Zootecnia*. 62(238):295-298
- Dillon, P.; Roche, J. R.; Shalloo, L. and Horan, B. 2005. Optimising financial return from grazing in temperate pastures. In: Proc. Satellite Workshop 20th International Grassland Congress. Cork, Ireland. Utilization of Grazed Grass in Temperate Animal Systems. Murphy, J. J. (Ed.). Wageningen Academic Publishers. Wageningen, Netherlands. pp: 131-147.
- Domínguez-Vara, I. A. y Huerta-Bravo, M. 2008. Concentración e interrelación mineral en suelo, forraje y suero de ovinos durante dos épocas en el Valle de Toluca, México. *Agrociencia*. 42:173-183.
- Escobedo, M. J. G. 1989. Estudios agronómicos y valor nutritivo del pasto Guinea (*Panicum maximum*) en la zona ganadera del Estado de Yucatán. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. 124 p.
- Fick, K. R.; McDowell, L. R.; Miles, P. H.; Wilkinson, N. S.; Funk, J. D.; Conrad, J. H. y Valdivia, R. 1979. Métodos de Análisis de Minerales para Tejidos de Plantas y Animales. Segunda Edición. (Universidad de Florida, Gainesville, Florida, USA).
- Garcés, J. 2005. Facultad de medicina veterinaria y zootecnia. Universidad de Córdoba, Montería, Colombia. Consultado 22 de agosto de 2005. Disponible en <http://www.unicordoba.edu.co/revistas/revistamvz/mvz-101/101-7.pdf>.
- Gates, R. N.; Mislevy, P. and Martin, F. G. 2001. Herbage accumulation of three bahiagrass populations during the cool season. *Agronomy Journal*. 93(1):112-117.
- Genther, O. N. and Hansen, S. L. 2014. A multi-element trace mineral injection improves liver copper and selenium concentrations and manganese superoxide dismutase activity in beef steers. *Journal of Animal Science*. 92:695-704.
- Gray, M. H.; Korte, C. J. and Christieson, W. M. 1987. Seasonal distribution of pasture production in New Zealand, XX. Waerengaokuri (Gisborne). *New Zealand Journal Experimental Agriculture*. 15:397-404.
- Greenwood, D. J.; Lemaire, G.; Gosse, G.; Cruz, P.; Draycott, A. and Neeteson, J. J. 1990. Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. *Annals of Botany*. 66:425-436.
- Huerta, B. M. 1997. Nutrición mineral de rumiantes en pastoreo. In: Memorias del curso Alternativas de Manejo en Bovinos para Carne en Pastoreo. 18-70 pp.

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2009. Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Catazajá, Chiapas. Clave geoestadística 07016. 9 p.
- Jarillo-Rodríguez, J.; Castillo-Gallegos, E.; Flores-Garrido, A. F.; Valles-de la Mora, B.; Ramírez, L.; Avilés, L.; Escobar-Hernández, R. and Ocaña-Zavaleta, E. 2011. Forage yield, quality and utilization efficiency on native pastures under different stocking rates and seasons of the year in the Mexican humid tropic. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 13:417-427.
- Juárez, H. J.; Bolaños-Aguilar, E. D. and Reinoso, P. M. 2004. Content of protein per unit of dry matter accumulated in tropical pastures. Winter. *Cuban Journal Agricultural Science*. 38(4):415-422.
- Kabata-Pendias, A. 2011. Trace Elements in Soil and Plants. Fourth ed. (CRC Press. USA). 505 p.
- Le Du, Y. L. P. and Penning, P. D. 1982. Animal based techniques for estimating herbage intake. *In: J. Leaver (ed.) Herbage Intake Handbook*. The British Grassland Society. pp:37-75.
- Lemaire, G. and Salette, J. 1984. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I. Etude de l'effet du milieu. *Agronomie*. 4(5):423-430.
- Lorenzo, F. J.; Gómez, A. I. y Cordoví, C. E. 2012. Efecto de la edad de rebrote en el rendimiento y contenido proteico del pasto *Brachiaria humidicola* cv CIAT-609 en un suelo vertisol. *Revista Producción Animal*. 24(1):6.
- Mannetje, L. and Jones, R. M. 2000. Measuring biomass of grassland vegetation. *In: Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Research*. Wallingford: CABI Publishing. UK. pp: 151-177.
- Marino, M. A.; Mazzanti, A.; Assuero, S. G.; Gastal, F.; Echeverría, H. E. and Andrade, F. 2004. Nitrogen dilution curves and nitrogen use efficiency during winter-spring growth of annual ryegrass. *Agronomy Journal*. 96(3):601-607.
- Martín, P. C. 1998. Valor nutritivo de las gramíneas tropicales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 32:1-10.
- McDowell, L. R. 1985. Nutrition of Grazing Ruminants in Warm Climates. Academic Press. New York. USA.
- McDowell, L. R. y Arthington, J. D. 2005. Minerales para Rumiantes en Pastoreo en Regiones Tropicales. Cuarta edición. Universidad de Florida. Gainesville, Florida. USA. 94.
- Minson, D. J. 1990. Copper *In: Forage in Ruminant Nutrition*, (Academic Press. San Diego, USA).
- Morales, A. E.; Domínguez, V. I.; González-Ronquillo, M.; Jaramillo, E. G.; Castelán, O. O.; Pescador, S. N. y Huerta, B. M. 2007. Diagnóstico mineral en forraje y suero sanguíneo de bovinos lecheros en dos épocas en el valle central de México. *Técnica Pecuaria México*. 45(3):329-344.
- Muchovej, R. M. and Mullahey, J. J. 1997. Evaluation of five bahiagrass cultivars in southwest Florida. *In: Proceedings XVIII International Grassland Congress*. Winnipeg (Canada).

- Muñoz-González, J. C.; Huerta-Bravo, M.; Rangel-Santos R.; Lara-Bueno, A. and De la Rosa-Arana, J. L. 2014. Mineral assessment of forage in mexican humid tropics. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 17:285-287.
- Ndebele, N.; Mtimuni, J. P.; Mpofu, I. D. T.; Makuza, S. and Mumba, P. 2005. The status of selected minerals in soil, forage and beef cattle tissues in a semi-arid region of Zimbabwe, *Tropical Animal Health and Production*. 37:381-393.
- NRC (National Research Council). 2001. *Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised Edition*. National Academies Press, Washington, D. C. USA. 488 p.
- Ortega-Gómez, R.; Castillo-Gallegos, E.; Jarillo-Rodríguez, J.; Escobar-Hernández, R.; Ocaña-Zavaleta, E. y Valles de la Mora, B. 2011. Nutritive quality of ten grasses during the rainy season in a hot-humid climate and ultisol soil. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 13(3):481-491.
- Pereira, J. V.; McDowell, L. R.; Conrad, J. H.; Wilkinson, N. and Martin, F. 1997. Mineral status of soils, forages and cattle in Nicaragua. I. Micro minerals. *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)*. 14:73-89.
- Pérez-Prieto, L. A. and Delagarde, R. 2012. Meta-analysis of the effect of pregrazing pasture mass on pasture intake, milk production, and grazing behavior of dairy cows strip-grazing temperate grasslands. *Journal of Dairy Science*. 95:5317-5330.
- Perkin-Elmer. 1996. *Analytical Methods for Atomic Absorption Spectroscopy*. United States of America. 300 p.
- SAS. 2004. *SAS/STAT 9.1. User's Guide*. Vol. 1-7. SAS Publishing. Cary, NC, USA. 5180 p.
- Sharma, M. C.; Joshi, C. and Gupta, S. 2003. Prevalence of mineral deficiency in soils, plants and cattle of certain districts of Uttar Pradesh. *Indian Journal of Veterinary Medicine*. 23(1):4-8.
- Steel, R. G. D.; Torrie, J. H. and Dickey, D. A. 1997. *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach*. 3rd ed. McGraw-Hill Series in Probability and Statistics. USA.
- Suttle, N. F. 2010. *Mineral Nutrition of Livestock*. 4th Edition, CABI Publishing, UK. 595 p.
- Taiz, L. and Zeiger, E. 2002. *Plant Physiology*. 3rd Ed. Sunderland (USA): Sinauer Associates Inc. 690 pp.
- Tamayo, J. L. 1989. *Geografía Moderna de México*. 9ª Edición. Trillas. D. F. México. 544 p.
- Van Soest, P. V.; Robertson, J. B. and Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy Science*. 74(10):3583-3597.
- Venuto, B. C.; Burson, B. L.; Hussey, M. A.; Redfearn, D. D.; Wyatt, W. E. and Brown, L. P. 2003. Forage yield, nutritive value, and grazing tolerance of Dallisgrass biotypes. *Crop Science*. 43(1):295-301.
- Vieyra-Alberto, R.; Domínguez-Vara, I. A.; Olmos-Oropeza, G.; Martínez-Montoya, J. F.; Borquez-Gastelum, J. L.; Palacio-Núñez, J.; Lugo J. A. y Morales-Almaráz, E. 2013. Perfil e interrelación mineral en agua, forraje y suero sanguíneo de bovinos durante dos épocas en la huasteca potosina, México. *Agrociencia*. 47:121-133.
- Weiss, W. P.; Pinos-Rodriguez, J. M. and Socha, M. T. 2010. Effects of feeding supplemental organic iron to late gestation and early lactation cows. *Journal of Dairy Science*. 93:2153-2160.

Whitehead, C. D. 2000. Nutrient Elements in Grassland: soil-plant-animal relationship,
(CABI Publishing, New York, USA).

CAPITULO 9

Condición corporal de bovinos en el trópico

11 TASA DE CRECIMIENTO DEL FORRAJE, CONDICIÓN CORPORAL Y PRODUCCIÓN DE LECHE DE VACAS DE DOBLE PROPÓSITO EN EL SURESTE MEXICANO

FORAGE GROWTH RATE, BODY CONDITION AND MILK PRODUCTION OF DUAL PURPOSE COWS IN MEXICAN SOUTHEAST

Juan Carlos Muñoz-González¹, Maximino Huerta-Bravo¹, Alejandro Lara Bueno^{1*}, Raymundo Rangel Santos¹, Jorge Luis de la Rosa Arana²,

¹Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Zootecnia. Posgrado en Producción Animal. Carretera México-Texcoco, Km 38.5, Chapingo, Estado de México, CP 56230. México. Tel: 595 952 1621.

²Secretaría de Salud de México. Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos. Francisco de Paula Miranda 117, México D.F., CP 01480. México. Tel: 555 062 1600.

***Autor para Correspondencia: Email:**

11.1 RESUMEN

El objetivo del trabajo fue determinar la tasa de crecimiento (TC) en forrajes, la condición corporal (CC), la producción de leche (PL) y los índices reproductivos, de un sistema de producción de bovinos de doble propósito (SPBDP) en el trópico húmedo mexicano. Se analizaron durante un año los forrajes en cinco unidades de producción (UP) del noreste del estado de Chiapas utilizando jaulas de exclusión para determinar TC de los forrajes, la CC del ganado en escala de 1-9 y se pesó la leche para estimar su producción (PL). El análisis de los datos consideró la UP, el mes y la época del año, y el genotipo de las vacas. La TC de los forrajes, CC y PL de vacas en el trópico húmedo es afectada ($p \leq 0.001$) por el mes y época del año, siendo los meses de la época seca los más críticos cuando se presenta la menor TC, CC y PL; el genotipo Holstein x Gyr tienen mayor PL que las cruas *Bos taurus* x *Bos indicus*. Existen bajos porcentajes de pariciones en los hatos de bovinos de doble propósito del trópico mexicano. Nuevos estudios son necesarios para evaluar la suplementación con fuentes de proteína, energía y minerales para determinar el efecto en los parámetros productivos y reproductivos.

Palabras clave: trópico, bovinos, calidad de leche, época

11.2 ABSTRACT

The objective was to determine the growth rate (GR) in forages, body condition score (BCS), milk production (MP), physico-chemical composition of milk and reproductive rates in dual-purpose cattle (DPC) in southeastern Mexico. Forages of five production units (PU) in northeastern of Chiapas State were sampled from exclusion cages to determine GR for one year, BCS of cows in 1-9 scale was also measured; milk was weighed to estimate MP. Data analysis considered PU, month and season of year and genotype of cows. There was effect ($p \leq 0.001$) of UP, month and season of year on GR, BCS and MP. In conclusion, GR of forage and BCS and milk production of cows in the humid tropics, is affected by season, being the dry season the most critical with lower GR, BCS and MP than that obtained during the rainy season. Low reproductive rates in the studied herds were found. Further studies are needed to evaluate supplementation sources of protein, energy and minerals to determine the effect on productive and reproductive parameters.

Keys words: Tropic, bovine milk quality, season

11.3 INTRODUCCIÓN

La medición de la condición corporal (CC) de las vacas, antes y después del parto es importante para tomar decisiones nutricionales y de manejo en el post-parto temprano y evitar efectos severos del balance energético negativo (BEN) en el resto de la lactancia (Roche 2006; Chagas *et al.* 2007). De acuerdo a Walsh *et al.* (2011), existen varios eventos que impactan la fertilidad de las vacas, siendo el BEN el primero en considerarse ya que es el factor que contribuye mayormente a la infertilidad. La medida subjetiva visual y táctil de la CC, y de sus cambios

temporales se utilizan para evaluar el estado nutricional y de salud de las vacas durante su ciclo productivo (Berry *et al.*, 2007).

Entre otros factores, se ha reportado que el nivel de alimentación (Roche *et al.* 2006; Roche *et al.* 2007), y tipo de dieta (McCarthy *et al.* 2007; Roche *et al.* 2006; Roche *et al.* 2007) afectan la CC de las vacas. En el trópico húmedo del sureste de México se presentan tres épocas del año bien definidas que son las épocas de lluvias (junio-septiembre), nortes (octubre-enero) y secas (febrero-mayo), y las diferentes condiciones climatológicas de cada época afectan la cantidad y calidad del forraje disponible para el ganado. Esto también puede afectar el estado nutricional y el comportamiento y productivo de los bovinos de doble propósito.

En el ganado, existe una relación entre la reproducción y el estado nutricional, y en las regiones tropicales, la desnutrición es el principal factor que dificulta el sistema de producción bovino (Galina y Arthur 1989). La desnutrición, o la ingesta inadecuada de nutrientes en relación con las demandas metabólicas, es un gran contribuyente a anestros posparto prolongados, especialmente en las vacas que dependen de forrajes para satisfacer la mayoría o la totalidad de sus necesidades de alimentación (Jolly *et al.* 1995). En las vacas lecheras, existe una relación inversa entre el balance de energía y el tiempo de la reanudación de la actividad ovárica posparto (De Vries *et al.* 1999). Además, una disminución en CC durante la lactancia temprana afecta el rendimiento reproductivo y la producción de leche (Dechow *et al.* 2002).

El objetivo de esta investigación fue evaluar la condición corporal, la producción de leche y la tasa de crecimiento del forraje y obtener datos reproductivos de bovinos de doble propósito en el trópico húmedo mexicano a través del año.

11.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y características del área de estudio

El trabajo se realizó de octubre del año 2012 a septiembre de 2013 en cinco unidades de producción de bovinos de doble propósito (BDP) situados en el ejido Punta Arena, Municipio de Catazajá, Chiapas, México. Esta comunidad está ubicada entre las coordenadas 17°46'50"N con 92°06'50"O y 17°43'13"N con 92°01'03", con clima tropical lluvioso con lluvias todo el año (Af), con precipitación promedio anual de 2600 mm (Tamayo 1985) y temperatura media anual de 26 °C (INEGI 2009), con alturas que van de 9 a 10 msnm. La región se caracteriza por tener tres épocas en el año bien definidas: la época de "nortes" (octubre-enero) con bajas temperaturas y cielo nublado, la época de lluvias de moderadas a intensas (junio a septiembre), y la época seca (febrero a mayo) con falta de humedad, mayor irradiación solar y temperaturas elevadas (Escobedo 1989). La superficie de las UP fue de 34±12.4 ha cubiertas con pasturas tropicales (96%), corrales de manejo y cuerpos de agua. Los forrajes predominantes en las praderas fueron pasto remolino (*Paspalum notatum*), pasto humidícola (*Brachiaria humidicola*), pasto insurgente (*Brachiaria brizantha*) y pasto mulato (*Brachiaria híbrida*).

Animales

Las vacas usadas fueron cruza de razas Holstein x Gyr ($n= 19$) y vacas con cruza de proporciones desconocidas de *Bos indicus* (Gyr, Brahman o Nelore) con *Bos taurus* (Pardo Suizo, Holstein o Simmental) ($n= 157$). En este trabajo se hará referencia como genotipo Holstein x Gyr y genotipo *Bos indicus-Bos taurus*.

Manejo alimenticio de los animales

La alimentación consistió en el consumo únicamente de gramíneas en pastoreo en la mayoría de las UP, excepto en la UP2 donde se proporcionaba un alimento concentrado de manera regular. En la UP1 se realizaba pastoreo continuo en las praderas mientras en el resto de las UP evaluadas se realizaba pastoreo rotacional.

Toma de datos y muestras

Datos de condición corporal (CC) y producción de leche (PL)

Se tomaron datos de CC y PL de todas las vacas en lactancia. Para CC el estado fisiológico que se consideró fue el de vacas en lactación ya que por la falta de registros productivos no se pudieron determinar las vacas gestantes o vacías en los hatos. Los datos de CC se tomaron en escala de 1 al 9 (Nicholson y Butterworth 1986), donde el punto 1 significa un animal muy flaco, emaciado y próximo a la muerte, en el punto 5 las costillas son generalmente visibles, hay poca cobertura de grasa, espinas dorsales apenas visible, mientras el punto 9 significa una vaca muy gorda con depósitos de grasa claramente visibles. Los datos de PL se obtuvieron pesando el total de leche producida de cada vaca en una báscula digital para determinar la producción en kg d⁻¹.

Datos reproductivos

Para obtener los datos reproductivos durante el año se utilizaron las siguientes ecuaciones:

- 1.- Pariciones (%)= (Vientres paridos x 100)/Vientres en servicio.
- 2.- Retención placentaria (%)= (Vientres con placenta retenida x 100)/ Vientres en servicio.
- 3.- Mortalidad de becerros (%)= (Beceros muertos x 100)/Total de becerros.
- 4.- Mortalidad de vientres (%)= (Vientres muertos x 100)/ Vientres en servicio.

Muestras de forraje

Con la finalidad de excluir el área de los forrajes en estudio con el área de pastoreo de los animales en la pradera, se colocaron jaulas de exclusión, lo cual permitió estimar la tasa de crecimiento (TC) del forraje en un periodo de 30 días (Mannetje y Jones 2000). Se utilizaron 30 jaulas de exclusión de 0.5 m de ancho x 1 m de largo x 1 m de alto hechas con varilla corrugada de ½ pulgada recubierta de una malla metálica con agujeros de 2 pulgadas de diámetro. La ubicación de las jaulas dependió de la variabilidad de la altura del forraje, se dividió en estratos que fueron: bajo, mediano y alto, dejando dos jaulas de exclusión por estrato de manera aleatoria para un total de seis jaulas por unidad de producción. Las muestras se colectaron utilizando un cuadrante de 0.25 m² en el área excluida a una altura de 2 a 3 cm del suelo (Pérez-Prieto y Delegarde 2012), después se cortó a la misma altura el resto del forraje en el área de la jaula. Las muestras de forraje fresco fueron colocadas en bolsas de papel, pesadas en una báscula digital y luego secadas en una estufa de aire forzado a 65 °C durante 48 horas; las muestras secas se pesaron para la determinación de materia seca, después se molieron en un molino de martillo y luego en un molino Wiley de aspas y con criba de 1 mm (Fick *et al.* 1979).

Para calcular la TC primeramente se determinó la acumulación mensual de forraje calculando el peso seco acumulado (PSA) que se estimó pesando mensualmente la materia seca (MS) acumulada en las jaulas de exclusión y se expresa en kg MS ha⁻¹. Posteriormente se calculó la TC con la siguiente fórmula:

$$TC = PSA/t$$

Donde: TC= Tasa de Crecimiento (kg MS ha⁻¹ d⁻¹)

PSA= Peso Seco Acumulado del forraje (ton MS ha⁻¹)

t= Días transcurridos entre cortes

Análisis estadísticos

El modelo estadístico para los datos de CC y PL consideró los efectos de unidad de producción (UP_h) [UP1, UP2, UP3, UP4 y UP5], mes del año (M_i) [octubre, noviembre... septiembre], época del año (E_j) [nortes, secas y lluvias], genotipo (G_k) [Holstein x Gyr, *Bos indicus*-*Bos taurus*]. Para TC solo se consideró el efecto del mes del año. Los datos se analizaron mediante el procedimiento GLM del paquete SAS (SAS 2004). La prueba de Tukey (Steel *et al.* 1997) se utilizó para la comparación de medias.

11.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de la unidad de producción en CC, PL y TC

Hubo diferencias ($p \leq 0.0001$) entre ranchos en las variables CC, PL y TC en el sistema doble propósito estudiado. En el Cuadro 40 se presentan los datos de CC, PL y TC.

Cuadro 40. Condición corporal (CC) y producción de leche (PL) de vacas de doble propósito, y tasa de crecimiento (TC) de forrajes de cinco unidades de producción (UP) en el sureste de México.

UP	Parámetro		
	CC (escala 1-9)	PL (kg)	TC (kg MS d ⁻¹)
1	3.74 ^c	3.21 ^c	21.91 ^b
2	4.02 ^{ab}	7.96 ^a	29.90 ^a
3	4.01 ^{ab}	3.42 ^c	25.74 ^{ab}
4	3.83 ^{bc}	4.59 ^b	26.24 ^{ab}
5	4.04 ^a	4.25 ^b	25.85 ^{ab}
Media general	3.93	4.27	25.93
EEM ¹	0.05	0.13	1.52

^{abc}Medias en la misma columna sin una literal en común son diferentes ($p \leq 0.05$);

¹EEM= Error estándar de la media

La UP1 presentó menor CC y PL que el resto de los ranchos. Esto se debió a que los animales tuvieron menos disponibilidad de forraje en este rancho donde la TC durante el año fue menor;

mientras el forraje del rancho dos tuvo mayor TC en el orden de 36, 16, 14 y 16% más comparado con los ranchos uno, tres, cuatro y cinco, respectivamente.

La variabilidad de TC se puede atribuir principalmente a la productividad de las especies forrajeras dominantes en las praderas, así como al manejo del suelo, ya que en el rancho dos se ha fertilizado al suelo.

En el caso del rancho uno, el forraje predominante era *P. notatum*, mientras en el rancho dos era *B. humidicola*. En general, la producción anual de MS de los pastos mejorados fue de 9372 vs 8631 de los pastos nativos, lo que representa un rendimiento de 8.6% más que los pastos nativos. La producción anual de MS en los pastos nativos es menor a lo mencionado por Jiménez (1989) de 10000 a 12000 kg de MS ha en gramas nativas tropicales. Las TC en las praderas estudiadas están fuera de la amplitud reportada por Alonso-Díaz *et al.* (2007) para praderas con gramas nativas de 41 ± 33 kg MS/ha/día.

Influencia del mes del año en la CC, PL y TC de los forrajes

Hubo diferencias ($p \leq 0.0001$) entre meses en la CC, PL y TC de los forrajes. En la Figura 20, se muestra las variables CC, PL y TC por mes.

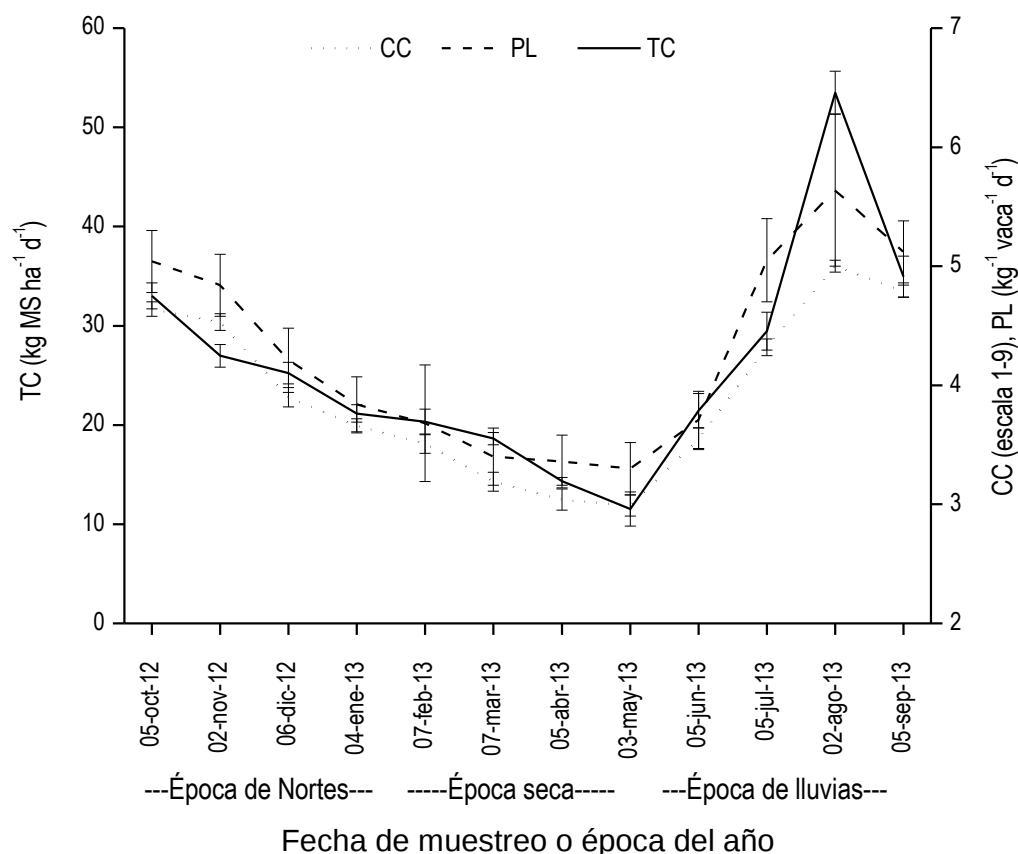


Figura 20. Tasa de crecimiento (TC; $n= 360$) del forraje, condición corporal (CC; $n= 971$) y producción de leche (PL; $n= 971$) de vacas en un sistema de producción de bovinos de doble propósito en el sureste de México.

La TC, CC y PL comienzan un descenso a partir del mes de octubre correspondiente a la época de nortes, llegando al punto mínimo en el mes de mayo correspondiente a la época seca, y alcanzan su pico máximo en el mes de agosto correspondiente a la época de lluvias. Considerando lo anterior, en octubre hay una CC, PL y TC mayor en 55, 53 y 186% comparado con el mes de mayo; mientras en el mes de agosto hay una CC, PL y TC mayor en 8, 12 y 62% comparado con el mes de octubre y de 67, 71 y 364% comparado con el mes de mayo. Arteaga (2014) reporta la misma tendencia en TC y CC en bovinos de carne en el oriente de Puebla donde estas variables presentan su punto más bajo en el mes de marzo y abril, atribuido a que la vaca en lactación no cubre su consumo de materia seca, por consiguiente, la vaca se basa en

una combinación de la movilización de las reservas corporales y alimentos disponibles para satisfacer la producción de leche (Bewley y Schutz, 2008). Asimismo, la menor CC y PL en el periodo febrero-mayo son atribuidas a la menor disponibilidad de forraje por una baja TC en los meses de la época seca que corresponden a la baja disponibilidad de agua para las plantas lo que limita su crecimiento. De acuerdo a Azcón-Bieto y Talón (2008), McKenzie *et al.* (1999) y Huerta (1997), la frecuencia y distribución de las lluvias, la cantidad de la radiación incidente sobre las praderas, la temperatura ambiental y nutrición de minerales son factores que afectan directamente la tasa de fotosíntesis. Cada ciclo de crecimiento en una pradera está siempre regulado por las condiciones atmosféricas, originando cambios en la magnitud de la tasa de crecimiento según la cantidad de irradiación solar que incide en la parcela y la temperatura ambiental a la cual crecen las plantas (McKenzie *et al.* 1999). La fotosíntesis es fuertemente influenciada por la humedad disponible, el nivel de fertilidad y propiedades físicas del suelo en la pradera (Matthew *et al.* 2001, Moliterno 2002).

Influencia de la época del año en la CC y PL

Hubo diferencias ($p \leq 0.0001$) entre épocas del año en la CC y PL de las vacas estudiadas. La Figura 21 muestra la CC y PL en diferentes épocas del año.

La CC media fue de 3.9 (escala 1-9) con un rango de 1-7. McManus *et al.* (2011) reportan una mayor CC en vacas doble propósito en el orden de 4.53, 4.49 y 4.62 (escala 1-9) en los genotipos Holstein x Gyr, Simmental x Gyr y Gyr, respectivamente, en Brasil. En el trópico húmedo mexicano, Montiel *et al.* (2007) presentan valores de CC menores a este estudio de 1.92 y 1.45 (escala 1-5) equivalente a 2.84 y 1.9 (escala 1-9; Garnsworthy, 2006) en la época seca y de lluvias, respectivamente.

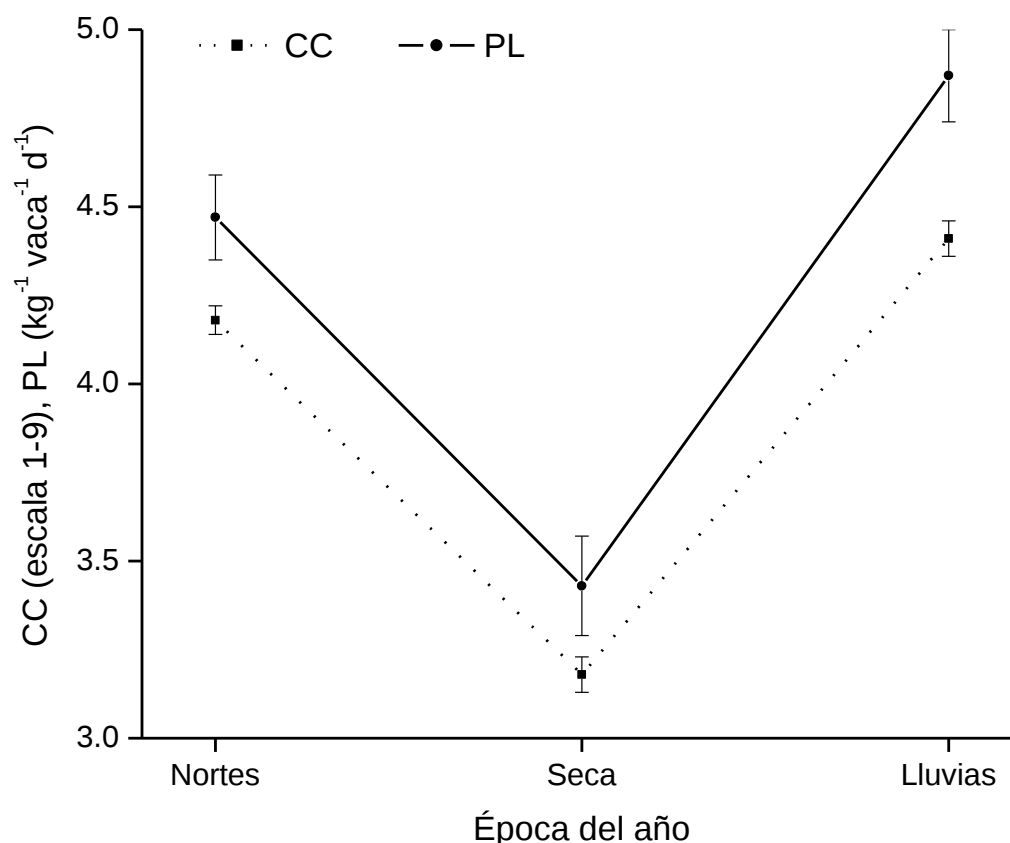


Figura 21. Condición corporal (CC; $n= 971$) y producción de leche (PL; $n= 971$) de vacas en un sistema de producción de doble propósito en el sureste de México.

En este estudio, la CC y PL se comportaron como sigue: bajas en la época seca, intermedias en la época de nortes y altas en la época de lluvias, así, la CC en la época nortes fue 31% mayor que en la época seca, lo que significó una diferencia de 1 punto (escala 1-9), mientras en la época de lluvias fue 6 y 39% mayor que en la época de nortes y seca, lo que significó un cambio de CC de 0.23 y 1.23 puntos, respectivamente.

La menor CC en los meses de la época seca pueden deberse a la menor TC de los forrajes resultando en menor consumo de MS por la menor oferta de forraje en esta época lo que ocasiona una mayor movilización de reservas corporales para satisfacer la producción de leche ocasionando un balance energético negativo (BEN) (Bewley y Schutz 2008). La disminución de la

CC de las vacas en producción al igual que la TC en la época seca concuerda con Roche *et al.* (2008), quienes mencionan que la disminución de CC de la vaca está asociada con la disminución en el consumo de materia seca (CMS), concordando con la teoría lipostática (Kennedy 1953). El estrés por calor puede agravar aún más los efectos del BEN. Durante periodos de estrés calórico, las vacas lactantes tienen un apetito reducido y mayor pérdida de CC en el postparto temprano en comparación con vacas sin estrés calórico (Shehab-El-Deen *et al.* 2010). Además de disminuir el consumo de energía y su actividad durante los meses de verano, el ganado criado en las zonas tropicales aumenta su frecuencia respiratoria y la sudoración, lo que resulta en un efecto perjudicial sobre la producción y el estado fisiológico de la vaca (West 2003). Por el contrario, el incremento de la CC en los meses de la época de lluvias donde la TC también es mayor, es debido a la acumulación de reservas corporales como mecanismo homeostático de los animales (Roche *et al.* 2013).

La PL media fue de $4.3 \text{ kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$, en un rango de 0.5 a 17 kg. Esto coincide con lo reportado por Vaccaro *et al.* (1993) para bovinos doble propósito en el trópico latinoamericano quienes reportan $4.0 \text{ kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$, pero un rango menor al de este estudio de 2.8 a 6.5. Sin embargo, McManus *et al.* (2011) reportan mayor PL de $6.26 \text{ kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$ en vacas doble propósito en Brasil central. Rojo-Rubio *et al.* (2009) mencionan que la producción de leche del SPBDP en México está entre 6 y $12 \text{ kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$. Por otro lado, la PL en la época de nortes fue 30% mayor que en la época seca, mientras en la época de lluvias fue 9 y 42% mayor que en la época de nortes y seca, respectivamente. Montiel *et al.* (2007) reportan valores promedio similares a este estudio de $4.0 \text{ kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$, sin embargo, este autor no encontró diferencias entre épocas del año y reporta una mayor PL que este estudio en la época seca de $4.0 \text{ kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$, pero similares en la época de lluvias con $3.8 \text{ kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$, mientras Romero (1999) reporta una PL en

la época seca mayores a este estudio de $4.5 \text{ kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$ pero similares en la época de lluvias con $4.25 \text{ kg}^{-1} \text{ vaca}^{-1} \text{ d}^{-1}$.

La menor PL en la época seca, puede atribuirse a la menor disponibilidad de forraje destinándose menor cantidad de energía del forraje para la producción de leche. Aunque la producción de leche puede ser afectada por varios nutrientes de la dieta, la proteína y la energía son los más críticos (Brun-Lafleur *et al.* 2010).

Efecto del genotipo en CC y PL

Entre los genotipos estudiados no hubo diferencias ($p \geq 0.05$) en la CC, pero PL fue mayor ($p \leq 0.01$) en el genotipo Holstein x Gyr comparado con el genotipo *Bos indicus*-*Bos taurus* (Figura 22). La menor producción de leche en ambos genotipos fue en la época seca, mientras que la mayor producción la registraron en la época de lluvias, lo cual se debe principalmente a la disponibilidad de forraje como ya se mencionó anteriormente.

El rango de PL fue de 2.3 a 21.0 en el genotipos Holstein x Gyr y de 0.5 a 12.8 en el genotipo *Bos indicus*-*Bos taurus*. McManus *et al.* (2011) también encontraron diferencias significativas ($p < 0.001$) en PL entre genotipos de vacas doble propósito en Brasil y reportan PL en vacas con genotipo Holstein x Gyr de 8.48 kg, en genotipo Simmental x Gyr de 6.09 y en genotipo Gyr de 4.56.

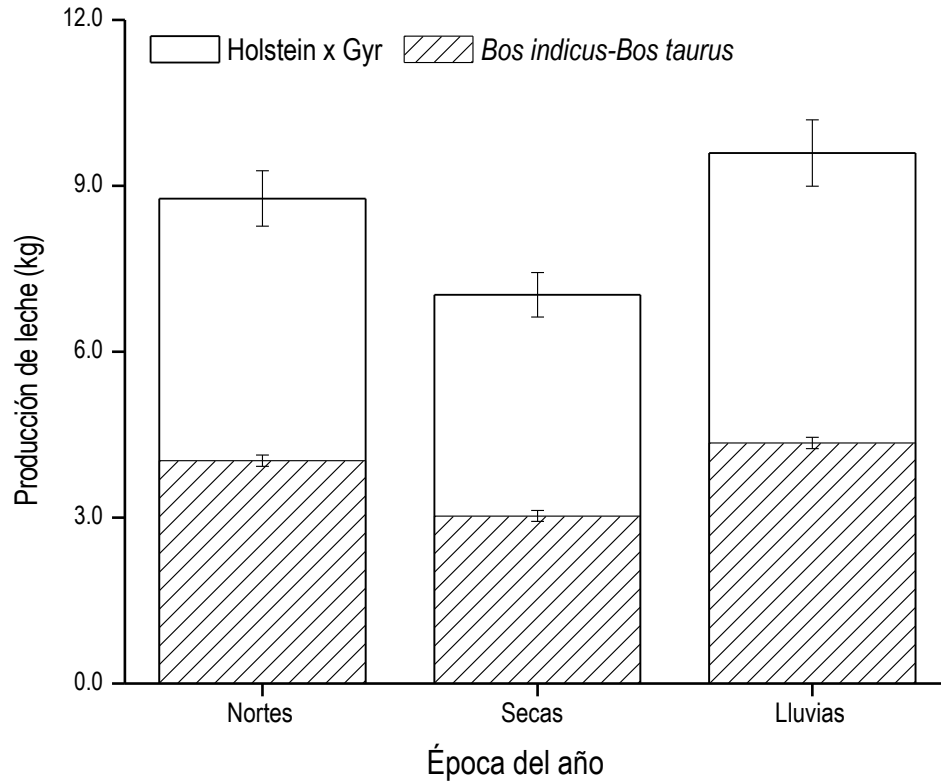


Figura 22. Producción de leche de los genotipos Holstein x Gyr ($n= 98$) y *Bos indicus-Bos taurus* ($n= 873$) en tres épocas del año en un sistema de doble propósito en el sureste de México.

La PL del genotipo Holstein x Gyr de este estudio comparadas con PL del genotipo Holstein x Gyr estudiadas por McManus *et al.* (2011) son similares, lo mismo ocurre al comparar PL del genotipo *Bos indicus-Bos taurus* de este estudio con el genotipo Gyr. Lemos *et al.* (1997) observaron un aumento en el período de lactancia, con un aumento en la proporción del genotipo Holstein en las vacas. Finalmente es necesario considerar que desde sus orígenes la raza Holstein se ha distinguido por su sobresaliente producción de leche, en virtud de la permanente selección para buscar acentuar aquellos rasgos que determinan una mayor producción lechera.

Datos reproductivos

En el Cuadro 41 se presentan los datos reproductivos encontrados en la zona de estudio. La CC se ha correlacionado con el rendimiento reproductivo fenotípicamente (Buckley *et al.* 2003) y genéticamente (Berry *et al.* 2003) y soporta la premisa de que el estado nutricional afecta la función productiva.

Cuadro 41. Datos reproductivos obtenidos durante 12 meses en cinco unidades de producción con animales doble propósito en el estado de Chiapas, México.

Parámetro (%)	Genotipo	
	Holstein x Gyr	Cruzas Cebú
Pariciones	38.9	43.4
Retención placentaria	16.7	16.9
Mortalidad de becerros	14.3	17.3
Mortalidad de vacas	0.0	0.8

El porcentaje de pariciones promedio es bajo y son similares a los mencionados por Román (1995) quien señala porcentajes anuales de parición de 45 a 55 % en el ganado doble propósito en México, (Vaccaro *et al.* 1993) mencionan porcentajes de pariciones más altos para bovinos doble propósito en el trópico latinoamericano de 64% en un rango de 39 a 81%. Villa y Arreguín (1993) señalan intervalos entre partos promedio mayores a 540 días, causados por la dificultad de obtener un parto por vaca cada año en los hatos de doble propósito con las condiciones actuales de manejo extensivo de los animales. Esto ocasiona prolongados periodos de anestro postparto, una inadecuada detección de estros y la necesidad de varios servicios por concepción. La duración del anestro postparto en tales condiciones se prolonga hasta 150-250 días (Santos *et al.* 1995, Ruiz-Cortés y Olivera-Ángel 1999, Villagómez *et al.* 1999) y es el principal factor que afecta el intervalo entre partos (Williams *et al.* 1996, Ruiz-Cortes y Olivera-Ángel 1999). Lo

anterior significa que los parámetros reproductivos en el SPBDP en el trópico mexicano no han cambiado desde hace más de 20 años.

Lo anterior puede deberse a que las vacas con CC bajas al parto, o que sufren exceso de pérdida de CC en el postparto temprano, tienen menos probabilidades de ovular, tienen una menor tasa de concepción por inseminación artificial, así como una menor tasa de concepción al primer servicio, también tienen mayor probabilidad de pérdida de la preñez y un aumento del intervalo entre partos (Berry *et al.* 2007, Roche *et al.* 2009). Esto puede atribuirse en parte al deterioro de la competencia del ovocito asociado con una CC baja (1.5-2.5; en escala 1-5 puntos; Snijders *et al.* 2000) lo que equivale a una CC de 2-4 (escala 1-9; Garnsworthy 2006).

En esta misma zona de estudio se han encontrado deficiencias de minerales en forraje (Muñoz *et al.* 2014) y suero sanguíneo de bovinos (Muñoz *et al.* 2013), principalmente de cobre y fósforo, esto es importante ya que una de las enzimas que contiene Cu es la diamino oxidasa en plasma (DAO) y es la principal enzima responsable de la desaminación oxidativa de las diaminas (cadaverina y putrescina) y sus derivados y la histamina (Schwelberger 2010). La histamina provoca la contracción de células del músculo liso (H1R), entre otras funciones, lo cual teóricamente puede provocar abortos prematuros en humanos (Maintz y Novak 2007). Por otro lado, la fertilidad en las vacas con mayor CC al parto ($CC \geq 3.5$, escala de 1-5 puntos; ó $CC \geq 6$ escala de 1-9) también es comprometida, ya que reducen el CMS justo antes del parto, y les toma más tiempo aumentar el CMS postparto, tienden a tener una mayor movilización de la grasa y por lo tanto un balance energético negativo (BEN) más severo en el postparto temprano que las vacas con CC óptima al parto (Roche *et al.* 2009).

Las condiciones ambientales de la época seca pueden influir en los parámetros reproductivos, ya que las concentraciones de glucosa, el factor de crecimiento insulínico (IGF-I) y el colesterol son más bajos, mientras que las concentraciones de ácidos grasos no esterificados (AGNE) y urea son más altos en sangre y líquido folicular de animales estresados por calor (Shehab-El-Deen *et al.* 2010). Estos cambios, junto con una disminución en el diámetro del folículo dominante, asociado con un BEN más severo en vacas estresadas por el calor hacen que alcanzar una alta eficiencia reproductiva en climas subtropicales y tropicales sea un reto mayor.

Respecto a la mortalidad de becerros, según Ávila (1993), para asegurar que una unidad de producción se beneficie se debe tener un manejo reproductivo con metas como la siguiente: del total de los becerros nacidos la meta es tener menos de 10% de becerros muertos del nacimiento a 24 meses. En este caso la mortalidad fue mucho mayor ya que se sobrepasa el 10% de becerros muertos del nacimiento a 12 meses.

11.6 CONCLUSIONES

La condición corporal y la producción de leche de las vacas de doble propósito en el noreste de Chiapas presentan una marcada estacionalidad, siendo la época seca (febrero, marzo, abril y mayo) la más crítica donde la condición corporal, la producción de leche y la disponibilidad de forrajes son menores. Así, las vacas presentan una CC en la época de lluvias de 6 y 39% más que en la época de nortes y secas, respectivamente; asimismo en la época de lluvias tienen 9 y 42% más PL que en la época de nortes y secas, respectivamente.

Las vacas del sistema de producción de bovinos doble propósito de este estudio con baja condición corporal, presentan bajos porcentajes de pariciones (41.2%) que pueden ser atribuidos principalmente a la baja disponibilidad de forraje a través del año. Nuevos estudios son

necesarios para evaluar la suplementación con fuentes de proteína, energía y minerales para determinar el efecto en los parámetros productivos y reproductivos.

11.7 LITERATURA CITADA

- Alonso-Díaz MA, Castillo-Gallegos E, Basurto-Camberos H, Jarillo-Rodríguez J, Valles-de la Mora B (2007) Respuesta productiva de una pastura de gramas nativas bajo pastoreo rotacional intensivo en clima cálido húmedo. *Revista Avances de Investigación Agropecuaria* 11(2): 35-55.
- Ávila DA (1993) Manejo reproductivo en el ganado bovino. Aportaciones tecnológicas para la ganadería veracruzana. 30 años al servicio de la ganadería. INIFAP. Paso del toro Veracruz, Veracruz. 10: 15-22.
- Azcón-Bieto J, Talón M (2008) *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. 2ª Edición. McGraw-Hill Interamericana de España. Madrid, España. 651 p.
- Berry DP, Buckley F, Dillon P, Evans RD, Rath M, Veerkamp RF (2003) Genetic relationships among body condition score, body weight, milk yield, and fertility in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86(6): 2193-2204.
- Berry DP, Roche JR, Coffey MP (2007) Body Condition Score and Fertility More Than Just a Feeling. *Fertility in Dairy Cows. Bridging the gaps* Liverpool Hope University. Liverpool, UK. pp: 107-118.
- Bewley JM, Schutz MM (2008) Review: An interdisciplinary review of body condition scoring for dairy cattle. *Professional Animal Scientist* 24(6): 507-529.
- Brun-Lafleur L, Delaby L, Husson F, Faverdin P (2010) Predicting energy × protein interaction on milk yield and milk composition in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 93(9): 4128-4143.
- Buckley F, O'Sullivan K, Mee JF, Evans RD, Dillon P (2003) Relationships among milk yield, body condition, cow weight, and reproduction in spring calved Holstein-Friesians. *Journal of Dairy Science* 86(7): 2308-2319.
- Chagas LM, Bass JJ, Blache D, Burke CR, Kay JK, Lindsay DR, Lucy MC, Martin GB, Meier S, Rhodes FM, Roche JR, Thatcher WW, Webb R (2007) Invited review: new perspectives on the roles of nutrition and metabolic priorities in the subfertility of high-producing dairy cows. *Journal of Dairy Science* 90(9): 4022-4032.
- De Vries MJ, Van Der Beek S, Kaal-Lansbergen LMTE, Ouweltjes W, Wilmink JBM (1999) Modeling of energy balance in early lactation and the effect of energy deficits in early lactation on first detected oestrous postpartum in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 82(9): 1927-1934.
- Dechow C D, Rogers G W, Clay J S (2002) Heritability and correlations among body condition score loss, body condition score, production and reproductive performance. *Journal of Dairy Science* 85(11): 3062-3070.

- Escobedo MJG (1989) Estudios agronómicos y valor nutritivo del pasto Guinea (*Panicum maximun*) en la zona ganadera del estado de Yucatán. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. 124 p.
- Fick KR, McDowell LR, Miles PH, Wilkinson NS, Funk JD, Conrad JH, Valdivia R (1979) Métodos de Análisis de Minerales para Tejidos de Plantas y Animales. 2ª Edición. Universidad de Florida. Gainesville, Florida, USA. 358 p.
- Galina CS, Arthur G H (1989) Review of cattle reproduction in the tropics. 3. Puerperium. Animal Breeding Abstracts 57(11): 889-910.
- Garnsworthy PC (2006) Body condition score in dairy cows: Targets for production and fertility. In: Recent Advances in Animal Nutrition. Garnsworthy PC, Wiseman J (ed) Nottingham University Press. Nottingham, UK. pp: 61-86.
- Huerta BM (1997) Nutrición mineral de rumiantes en pastoreo. In: Memorias del curso Alternativas de Manejo en Bovinos para Carne en Pastoreo. pp: 18-70.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (2009) Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Catazajá, Chiapas. Clave geoestadística 07016. 9 p.
- Jiménez MA (1989) La Producción de Forrajes en México. Universidad Autónoma Chapingo, Banco de México-FIRA. Chapingo, México. 100 p.
- Jolly PD, McDougall S, Fitzpatrick LA, Macmillan KL, Entwistle KW (1995) Physiological effects of undernutrition on post-partum anoestrus in cows. Journal of Reproduction and Fertility. (Suppl.) 49: 477-492.
- Kennedy GC (1953) The role of depot fat in the hypothalamic control of food intake in the rat. Proceeding of the Royal Society of London B: Biological Sciences 140(901): 578-592.
- Lemos ADM, Verneque RDS, Teodoro RL, Novaes LP, Gonçalves TDM and Monteiro JBN (1997) Efeito da estratégia de cruzamentos sobre características produtivas e reprodutivas em vacas do sistema mestiço do CNPGL-EMBRAPA. Revista Brasileira de Zootecnia 26(4): 704-708.
- Maintz L and Novak N (2007) Histamine and histamine intolerance. American Journal of Clinical Nutrition 85(5): 1185-1196.
- Mannetje L, Jones RM (2000) Measuring biomass of grassland vegetation. In: Field and Laboratory Methods for Grassland and Animal Production Research. Wallingford: CABI Publishing. UK. pp: 151-177.
- Matthew C, Van Loo EN, Tom ER, Dawson LA, Care DA (2001) Understanding shoot and root development. Proceedings of the XIX International Grassland Congress. Sao Paulo, Brasil. pp: 19-27.
- McCarthy SD, Berry P, Dillon P, Rath M, Horan B (2007) Influence of Holstein-Friesian strain and feed system on body weight and body condition score lactation profiles. Journal of Dairy Science 90(4): 1859-1869.

- McKenzie BA, Kemp PD, Moot DJ, Matthew C, Lucas RL (1999) Environmental effects on plant growth and development. *In: New Zealand Pastures and Crop Science*. Oxford University Press. 323 p.
- McManus C, Louvandini H, Carneiro HC, Lima PRM, Neto JB (2011) Production indices for dual purpose cattle in central Brazil. *Revista Brasileira de Zootecnia* 40(7): 1576-1586.
- Montiel F, Galina CS, Lamothe C, Castañeda O (2007) Effect of a feed supplementation during the mid-lactating period on body condition, milk yield, metabolic profile and pregnancy rate of grazing dual-purpose cows in the Mexican humid tropic. *Archivos de Medicina Veterinaria* 39(3): 207.
- Muñoz GJC, Huerta BM, Ramírez VR, González AMJ (2013) Evaluación mineral en suero de bovinos de doble propósito en Catazajá, Chiapas, México. *In: Memorias de XXIII Reunión de la ALPA y IV Congreso Internacional de Producción Animal Tropical*. PB-118.
- Muñoz-González JC, Huerta-Bravo M, Rangel-Santos R, Lara-Bueno A and De la Rosa-Arana JL (2014) Mineral assessment of forage in mexican humid tropics. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 17: 285-287.
- Nicholson MJ, Butterworth MH (1986) A Guide to Condition Scoring of Zebu Cattle. International Livestock Centre for Africa. Addis Ababa, Ethiopia. 29 p.
- Pérez-Prieto LA, Delagarde R (2012) Meta-analysis of the effect of pregrazing pasture mass on pasture intake, milk production, and grazing behavior of dairy cows strip-grazing temperate grasslands. *Journal of Dairy Science* 95(9): 5317-5330.
- Roche JF (2006) The effect of nutritional management of the dairy cow on reproductive efficiency. *Animal Reproduction Science* 96(3): 282-296.
- Roche JR, Berry DP, Kolver ES (2006) Holstein-Friesian strain and feed effects on milk production, body weight, and body condition score profiles in grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science* 89(9): 3532-3543.
- Roche JR, Berry DP, Lee JM, Macdonald KA, Boston RC (2007) Describing the body condition score change between successive calvings: A novel strategy generalizable to diverse cohorts. *Journal of Dairy Science* 90(9): 4378-4396.
- Roche JR, Blache D, Kay JK, Miller DR, Sheahan AJ, Miller DW (2008) Neuroendocrine and physiological regulation of intake, with particular reference to domesticated ruminant animals. *Nutrition Research Reviews* 21(2): 207-234.
- Roche JR, Friggens NC, Kay JK, Fisher MW, Stafford KJ, Berry DP (2009) Invited review: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *Journal of Dairy Science* 92(12): 5769-5801.
- Roche JR, Kay JK, Friggens NC, Looor JJ, Berry DP (2013) Assessing and managing body condition score for the prevention of metabolic disease in dairy cows. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* 29(2): 323-336.
- Rojo-Rubio R, Vázquez-Armijo JF, Pérez-Hernández P, Mendoza-Martínez GD, Salem AZM, Albarrán-Portillo B, Dorantes-Coronado EJ (2009) Dual-purpose cattle production in Mexico. *Tropical Animal Health and Production* 41(5): 715-721.

- Román PH (1995) Situación actual y retos de la ganadería bovina en el trópico. XX Symposium de Ganadería Tropical: Alternativas de alimentación del ganado bovino en el trópico. México. pp: 1-10.
- Romero FMZ (1999) El impacto de "El Niño" en la producción lechera de un hato de doble propósito. Memorias XII Reunión Científica Tecnológica Forestal y Agropecuaria Veracruz. Veracruz, México. pp: 160-164.
- Ruiz-Cortes ZT, Olivera-Angel M (1999) Ovarian follicular dynamics in suckled zebu (*Bos indicus*) cows monitored by real time ultrasonography. *Animal Reproduction Science* 54(4): 211-220.
- Santos ER, Arreguín JAA, Villa-Godoy A, Román YPH (1995) Interacción de la condición corporal (CC) y la frecuencia del amamantamiento (M) sobre la actividad ovárica postparto en vacas Cebú. I.-El desarrollo folicular ovárico. Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Veterinaria México 26: 322.
- SAS. 2004. SAS/STAT 9.1. User's Guide. Vol. 1-7. SAS Publishing. Cary, NC, USA. 5180 p.
- Schwelberger HG (2010) Histamine intolerance: a metabolic disease?. *Inflammation Research*. 59(2): 219-221.
- Shehab-El-Deen MA, Leroy JL, Fadel MS, Saleh SY, Maes D, Van Soom A (2010) Biochemical changes in the follicular fluid of the dominant follicle of high producing dairy cows exposed to heat stress early post-partum. *Animal Reproduction Science* 117(3): 189-200.
- Snijders SEM, Dillon P, O'Callaghan D, Boland MP (2000) Effect of genetic merit, milk yield, body condition and lactation number on in vitro oocyte development in dairy cows. *Theriogenology* 53(4): 981-989.
- Steel RGD, Torrie JH, Dickey DA (1997) Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 3rd ed. McGraw-Hill Series in Probability and Statistics. USA. 622 p.
- Tamayo JL (1989) Geografía Moderna de México. 9ª Edición. Trillas. D. F. México. 544 p.
- Vaccaro L, Vaccaro R, Verde O, Mejías H, Romero E (1993) Harmonizing type and environmental level in dual-purpose cattle herds in Latin American. *World Animal Review* 77: 15-20.
- Vibart RE, Fellner V, Burns JC, Huntington GB, Green Jr JT (2008). Performance of lactating dairy cows fed varying levels of total mixed ration and pasture. *Journal of Dairy Research* 75(04): 471-480.
- Villa-Godoy A, Arreguín AA (1993) Tecnología disponible y principales líneas de investigación para resolver el anestro postparto en vacas de doble propósito. XVI Symposium de Ganadería Tropical: 4º Ciclo de conferencias sobre bovinos de doble propósito. INIFAP. Veracruz. México. pp: 55-84.
- Villagómez AE, Zárate JM, Arellano HM, Villa GA, González EE (1999) Efectos de la suplementación energética y del amamantamiento sobre el desarrollo folicular y el anestro de vacas de doble propósito. XXXV Reunión Nacional de Investigación Pecuaria. Yucatán, México. 27 p.
- Walsh SW, Williams EJ, Evans ACO (2011) Review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. *Animal Reproduction Science* 123(3): 127-138.

West JW (2003) Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 86(6): 2131-2144.

Williams GL, Gazal OS, Vega GG, Stanko RL (1996) Mechanisms regulating suckling-mediated anovulation in the cow. *Animal Reproduction Science* 42(1): 289-297.

CAPÍTULO 10

12 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LA LECHE DE VACAS DE DOBLE PROPÓSITO EN EL SURESTE MEXICANO

EVALUATION OF MILK QUALITY OF DUAL PURPOSE COWS IN MEXICAN SOUTHEAST

Juan Carlos Muñoz-González¹, Maximino Huerta-Bravo¹, Alejandro Lara Bueno^{1*}, Raymundo Rangel Santos¹, Jorge Luis de la Rosa Arana²,

¹Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Zootecnia. Posgrado en Producción Animal. Carretera México-Texcoco, Km 38.5, Chapingo, Estado de México, CP 56230. México. Tel: 595 952 1621.

²Secretaría de Salud de México. Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológicos. Francisco de Paula Miranda 117, México D.F., CP 01480. México. Tel: 555 062 1600.

***Autor para Correspondencia:** Email:

12.1 RESUMEN

El objetivo del trabajo fue determinar la composición fisicoquímica y calidad de la leche de bovinos doble propósito (BDP) en el trópico húmedo mexicano. Se analizaron muestras de leche durante un año para determinar las concentraciones de grasa, proteína, caseína, lactosa, sólidos no grasos (SNG), sólidos totales (ST) y pH. El análisis de los datos consideró el efecto de rancho, mes, época del año y genotipo animal. Hubo diferencias ($p \leq 0.05$) entre ranchos, meses y épocas del año en todos los componentes de la leche analizados, excepto en el pH entre ranchos. Las vacas con el genotipo *Bos taurus*-*Bos indicus* produjeron leche con mayores ($p \leq 0.05$) concentraciones de proteína, caseína, lactosa, SNG y ST que las del genotipo Holstein x Gyr. El 80.02, 77.24, 91.45, 90.11, 86.10, 80.84% de las muestras alcanzan los estándares de calidad para grasa, proteína, caseína, lactosa, SNG, y ST, respectivamente. Se concluye que la calidad de leche es mayor en la época seca, comparada con la de nortes y lluvias. Son necesarios más estudios en el área de inocuidad y manejo sanitario que permitan desarrollar tecnologías para

mejorar la calidad de la leche y darle un valor agregado para incrementar la rentabilidad del sistema de producción doble propósito en el trópico.

Palabras clave: trópico, bovinos, calidad de leche, época.

12.2 ABSTRACT

The objective was to determine the physico-chemical composition and milk quality of dual-purpose cattle (BDP) in the Mexican humid tropics. Milk samples were analyzed for a year to determine the concentrations of fat, protein, casein, lactose, non-fat (SNG) solids, total solids (TS) and pH. The data analysis considered the effect of ranch, month, season of year and genotype. There were differences ($p \leq 0.05$) between ranches, months and seasons in all components of milk analyzed, except pH between ranches. Cows with the genotype *Bos taurus*-*Bos indicus* had higher ($P \leq 0.05$) content of protein, casein, lactose, SNG and ST than cows with the Holstein x Gyr genotype. The 80.02, 77.24, 91.45, 90.11, 86.10, 80.84% of the samples reach quality standards for fat, protein, casein, lactose, SNG, and ST, respectively. It is concluded that the quality of milk is higher in the dry season compared to northern winds, and rainy seasons. Further studies are needed in the area of safety and health management in order to develop technologies to improve the quality of milk and give added value to increase the profitability of dual-purpose production system in the tropics.

Keys words: Tropic, cattle, milk quality, season.

12.3 INTRODUCCIÓN

La calidad de la leche depende de las concentraciones de sus componentes como grasa, proteína, lactosa, minerales, caseína, ácidos grasos libres, sólidos totales y sólidos no grasos, y de parámetros físicos como densidad, acidez y punto de congelación (Hurley 2009). La cantidad de grasa y proteína juega un papel importante en la industria, ya que se llega a pagar un incentivo a la leche con altas concentraciones de estos componentes, debido a que la leche con estas características presenta mayores rendimientos al momento de procesarla en distintos derivados lácteos (Vargas 2006.)

La calidad de la leche, como de cualquier otro producto o insumo, requiere ajustarse a especificaciones establecidas en normas o estándares de calidad. Para el caso de la leche de bovino en México, la normativa legal está contenida en la Norma Oficial Mexicana NOM-155-SCFI-2003.

En México la leche de bovino se produce en cuatro sistemas de producción en las distintas regiones del país: especializado, semi especializado, lechería familiar y doble propósito (Blanco 2010). La mayoría de la leche producida en México proviene de los sistemas especializados y de lechería familiar, localizados primordialmente en las regiones templada, árida y semiárida del país, utilizando principalmente estabulación o semi estabulación con ganado de la raza Holstein. El sistema de producción de bovinos doble propósito (SPBDP) se practica en las regiones tropicales de México y utiliza ganado producto de las cruas entre distintas razas cebuínas con razas europeas, principalmente en pastoreo de praderas tropicales (Blanco 2010).

El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad fisicoquímica de la leche de vacas doble propósito en el trópico húmedo mexicano a través del año y compararla con estándares nacionales de calidad.

12.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y características del área de estudio

El trabajo se realizó de octubre del año 2012 a septiembre del 2013 en cinco unidades de producción de bovinos de doble propósito (BDP) situados en el ejido Punta Arena, Municipio de Catazajá, Chiapas, México. Esta comunidad está ubicada entre las coordenadas 17°46'50"N con 92°06'50"O y 17°43'13"N con 92°01'03"O, con clima tropical lluvioso con lluvias todo el año (Af), con precipitación promedio anual de 2600 mm (Tamayo 1985) y temperatura media anual de 26 °C (INEGI 2009), con alturas que van de 9 a 10 msnm.

La región se caracteriza por tener tres épocas en el año bien definidas: la época de frentes fríos denominados localmente como "nortes" (octubre-enero) con bajas temperaturas y cielo nublado, la época de lluvias de moderadas a intensas (junio a septiembre), y la época seca (febrero a mayo) con falta de humedad, mayor irradiación solar y temperaturas elevadas (Escobedo 1989). La superficie de las UP fue de 34 ± 12.4 ha; cubiertas con pasturas tropicales (96%), corrales de manejo y cuerpos de agua. Los forrajes predominantes en las praderas fueron pasto remolino (*Paspalum notatum*), pasto humidícola (*Brachiaria humidicola*), pasto insurgente (*Brachiaria brizantha*) y pasto mulato (*Brachiaria híbrida*).

Animales

Las vacas usadas fueron cruza de razas Holstein x Gyr ($n= 19$) y vacas con cruza de proporciones desconocidas de *Bos indicus* (Gyr, Brahman o Nelore) con *Bos taurus* (Pardo Suizo, Holstein o Simmental) ($n= 157$). En este trabajo se hará referencia como genotipo Holstein x Gyr y genotipo *Bos indicus-Bos taurus*.

Manejo alimenticio de los animales

La alimentación consistió en el consumo únicamente de gramíneas en pastoreo en la mayoría de las UP, excepto en la UP2 donde se proporcionaba un alimento concentrado de manera regular. En la UP1 se realizaba pastoreo continuo en las praderas mientras el resto de las UP evaluadas se realizaba pastoreo rotacional.

Toma de datos y muestras

Las muestras de leche se tomaron de manera individual a las vacas en producción. Para obtener una muestra homogénea se agitó suavemente el volumen total de leche producida por cada vaca, inmediatamente después se colectó la muestra y se colocó en viales de plástico previamente esterilizados de 60 mL (Operadora ETESA S. A. de C. V.) conteniendo una pastilla de Bronopol (2-bromo-2-nitro-1,3 propanediol) como conservador. Las muestras se mantuvieron en refrigeración a 4°C hasta su análisis fisicoquímico.

Evaluación de la calidad de la leche

La calidad de la leche de los hatos muestreados se evaluó comparándolos con las especificaciones establecidas en la NMX-F-700-COFOCALEC-2004 para leche cruda. Los promedios para los porcentajes de grasa, proteína, lactosa y SNG se calcularon para cada hato y

se compararon con los niveles mostrados en el Cuadro 42 para determinar la categoría de pertenencia de la leche.

Cuadro 42. Parámetros de calidad de la leche establecidos en normas mexicanas.

Parámetro	Especificación
Grasa butírica (%) [*]	
Clase A	≥ 3.2
Clase B	3.1 mín.
Clase C	3.0 mín.
Proteínas totales (%) [*]	
Clase A	≥ 3.1
Clase B	3.0 a 3.09
Clase C	2.8 a 2.99
Caseína (%) ^{**}	2.3 mín.
Lactosa (%) ^{**}	4.3 a 5.0
Sólidos no grasos (%) [*]	8.3 mín.
Sólidos totales (%) ^{**}	11.3

^{*}Fuente: NMX-F-700-COFOCALEC-2004

^{**}Fuente: NOM-155-SCFI-2003.

Análisis de laboratorio

El análisis fisicoquímico de las muestras de leche se realizó en el Laboratorio de Calidad de la Leche del Posgrado en Producción Animal de la Universidad Autónoma Chapingo. Las muestras fueron calentadas a baño María hasta alcanzar 40 °C y mezcladas suavemente antes de ser analizadas en un MilkoScan FT 120 (Foss Analytical Foss Electric, Denmark, infrarrojo por transformada de Fourier); para el análisis de grasa, proteína, caseína, lactosa, Sólidos No Grasos (SNG), Sólidos Totales (ST) y acidez (pH) de cada vaca en cada muestreo.

Análisis estadísticos

Los datos se analizaron mediante el modelo lineal general (GLM) del programa SAS (2004). Los datos de la composición fisicoquímica de la leche se analizaron con el siguiente modelo: $Y_{hijk} =$

$\mu + R_h + M_i + E_j + G_k + \varepsilon_{hijk}$ donde, Y_{hijk} = valor de la variable respuesta correspondiente al h -ésimo rancho en el i -ésimo mes del año en la j -ésima época en el k -ésimo genotipo, μ = media general; R_h = Efecto del h -ésimo rancho (1, 2...5); M_i = efecto del i -ésimo mes del año (octubre, noviembre...septiembre); E_j = efecto de la j -ésima época del año (nortes, seca, lluvias); G_k = l -ésimo genotipo (Holstein x Gyr, *Bos indicus*-*Bos taurus*) y ε_{ijkl} = error aleatorio $\sim$ NIID (0, σ^2_e). La prueba de Tukey (Steel *et al.* 1997) se utilizó para la comparación de medias.

12.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Influencia del rancho en la composición fisicoquímica de la leche

Los resultados de los contenidos de grasa, proteína, caseína, lactosa, SNG, ST y acidez de la leche se presentan en el Cuadro 43. Hubieron diferencias ($p \leq 0.05$) en las concentraciones de grasa, proteína, caseína, lactosa, SNG y ST.

Cuadro 43. Composición fisicoquímica de la leche de vacas doble propósito en cinco ranchos en el sureste de México.

Rancho	Grasa (%)	Proteína (%)	Caseína (%)	Lactosa (%)	SNG (%)	ST (%)	Acidez (pH)
1	4.18 ^a	3.48 ^a	2.75 ^a	4.69 ^{bc}	8.81 ^a	12.81 ^a	7.72 ^a
2	3.96 ^{ab}	3.28 ^b	2.55 ^b	4.60 ^c	8.52 ^b	12.06 ^b	7.73 ^a
3	4.02 ^{ab}	3.39 ^{ab}	2.67 ^a	4.75 ^b	8.75 ^a	12.75 ^a	7.72 ^a
4	3.69 ^b	3.37 ^{ab}	2.67 ^a	4.88 ^a	8.85 ^a	12.64 ^a	7.87 ^a
5	3.75 ^b	3.45 ^a	2.69 ^a	4.72 ^{bc}	8.77 ^a	12.51 ^{ab}	7.79 ^a
EEM*	0.08	0.03	0.03	0.03	0.04	0.12	0.10

^{abc}Medias en la misma columna sin una literal en común son diferentes ($p \leq 0.05$).

*EEM= error estándar de la media.

Los menores contenidos de proteína, caseína, lactosa, SNG y ST se presentaron en el rancho dos, lo cual pueden atribuirse a que las vacas de este rancho fueron Holstein x Gyr ya que fueron

las vacas con mayores volúmenes de producción, además en este rancho se proporcionaba alimento concentrado con regularidad.

La variación en la composición fisicoquímica de la leche, principalmente de grasa, dependerá de la cantidad de concentrado en la dieta, se considera que cuando mayor es el contenido de concentrado en la dieta el contenido de grasa de la leche disminuye. Por el contrario, dietas ricas en forraje, como en este caso, permiten obtener leche con un mayor contenido de grasa (Hazard 1997) y de los otros componentes. En zonas tropicales, Santos (2007) reporta una composición de la leche similar a este estudio en las concentraciones de grasa, proteína, lactosa y ST en el orden de 4.1, 3.6, 5 y 13.4%, respectivamente.

Influencia del mes y época del año en la composición fisicoquímica de la leche

Se encontraron diferencias ($p \leq 0.001$) entre los meses del año en los contenidos de grasa, proteína, caseína, lactosa, SNG, ST y pH en la leche analizada. También hubo diferencias ($P \leq 0.001$) entre las épocas del año en los contenidos de grasa, proteína, caseína, lactosa y SNG de la leche. Como se observa en el Cuadro 44, el contenido de grasa y sólidos no grasos (SNG) es mayor ($P \leq 0.05$) en los meses que comprenden la época seca (febrero-mayo), respecto a la época de lluvias (junio-septiembre), y nortes (octubre-enero). También los contenidos de proteína y caseína fueron menores ($p \leq 0.05$) en la época de lluvias, respecto a la época de nortes y secas.

Los mayores contenidos de los componentes de la leche en la época seca pueden relacionarse con la disminución drástica de la producción de leche en esta época por una baja disponibilidad de forrajes, como se ha discutido anteriormente, lo que ocasiona que la concentración de los componentes se incremente, contrario a lo que ocurre en la época de lluvias, donde hay mayor disponibilidad de forraje y agua, el volumen de producción se incrementa y hay una mayor

dilución de los componentes de la leche. Alais (1984) y Santos (2007) concuerdan en que la composición de la leche entre la época de lluvias y la época seca es diferente ya que el contenido de grasa y sólidos totales es baja durante las lluvias (junio, julio y agosto), y alta al final del ciclo de secas (febrero, marzo y abril).

Cuadro 44. Contenido de grasa, proteína, caseína, lactosa, sólidos no grasos (SNG), sólidos totales (ST) y pH de la leche en los meses y épocas del año de vacas doble propósito en el sureste de México.

Efecto	Componente						
	Grasa (%)	Proteína (%)	Caseína (%)	Lactosa (%)	SNG (%)	ST (%)	Acidez (pH)
Mes del año							
05-oct-12	3.78 ^{bcd}	3.35 ^{abc}	2.67 ^{abc}	4.72 ^{ab}	8.70 ^{abc}	12.11 ^{ed}	7.03 ^e
02-nov-12	3.72 ^{cd}	3.49 ^{ab}	2.78 ^{ab}	4.75 ^a	8.92 ^a	12.85 ^{abcd}	7.28 ^{de}
06-dic-12	3.79 ^{bcd}	3.5 ^{ab}	2.79 ^a	4.70 ^{ab}	8.90 ^{ab}	12.27 ^{cde}	7.38 ^{de}
04-ene-13	3.30 ^d	3.36 ^{abc}	2.61 ^{bcd}	4.54 ^b	8.51 ^c	12.2 ^{cde}	7.35 ^{de}
07-feb-13	4.20 ^{abc}	3.48 ^{ab}	2.76 ^{ab}	4.83 ^a	8.93 ^a	13.21 ^a	7.40 ^{de}
07-mar-13	4.66 ^a	3.47 ^{ab}	2.74 ^{ab}	4.66 ^{ab}	8.76 ^{abc}	13.12 ^{ab}	7.52 ^{cde}
05-abr-13	4.30 ^{ab}	3.55 ^a	2.80 ^a	4.77 ^a	8.93 ^a	13.25 ^a	7.61 ^{cde}
03-may-13	4.24 ^{abc}	3.47 ^{ab}	2.76 ^{ab}	4.82 ^a	8.91 ^a	12.92 ^{abc}	8.11 ^{abc}
05-jun-13	4.12 ^{abc}	3.43 ^{ab}	2.44 ^d	4.83 ^a	8.63 ^{bc}	12.39 ^{bcde}	7.92 ^{bcd}
05-jul-13	3.54 ^d	3.36 ^{abc}	2.63 ^{abc}	4.73 ^{ab}	8.73 ^{abc}	12.48 ^{abcde}	8.37 ^a
02-ago-13	3.76 ^{bcd}	3.28 ^{bc}	2.64 ^{abc}	4.80 ^a	8.74 ^{abc}	12.6 ^{abcde}	8.62 ^a
05-sep-13	3.36 ^d	3.19 ^c	2.56 ^{cd}	4.84 ^a	8.63 ^{bc}	11.83 ^e	8.75 ^a
Época del año							
Nortes	3.64 ^b	3.42 ^a	2.70 ^a	4.67 ^b	8.75 ^b	12.33 ^b	7.64 ^b
Secas	4.35 ^a	3.49 ^a	2.76 ^a	4.76 ^a	8.88 ^a	13.13 ^a	8.33 ^a
Lluvias	3.70 ^b	3.31 ^b	2.56 ^b	4.80 ^a	8.67 ^b	12.33 ^b	7.29 ^c
Media general	3.92	3.41	2.68	4.75	8.77	12.61	7.78
EEM*	0.12	0.05	0.04	0.05	0.06	0.17	0.14

^{abc}Medias en la misma columna sin una literal en común son diferentes ($p \leq 0.05$)

*EEM= error estándar de la media

La concentración de lactosa tiende a ser menor en la época de nortes y época seca, contrario a los contenidos de grasa, proteína y caseína. Según Lawrence (1991) y Latrille (1993) la curva de

la lactosa es opuesta a los otros componentes de la leche ya que sigue la misma tendencia que la curva de producción de leche.

Los valores de pH son menores en la época de lluvias y nortes, respecto a la época de secas, esto puede deberse a la contaminación de la leche al momento de la ordeña ya que en en la época de lluvias la humedad es propicia para el desarrollo microbiano, esto se agrava con el mal manejo sanitario durante la ordeña. Los valores de acidez pueden variar drásticamente en leches contaminadas, dado que los microorganismos forman ácido láctico a partir de la lactosa, disminuyendo así el pH y aumentando la acidez (Herrera 1995).

Influencia del genotipo en la composición fisicoquímica de la leche de la leche.

La leche de las vacas *Bos taurus*-*Bos indicus* tuvieron mayor ($p < 0.01$) contenido de proteína, caseína, lactosa, SNG y ST comparada con la leche de la cruce Holstein x Gyr, pero ambos genotipos presentaron similares ($p \geq 0.05$) concentraciones de grasa y pH en la leche (Figura 23).

Hershberger (2012) en un estudio realizado en explotaciones lecheras en clima templado presenta datos con mayores contenidos de grasa, proteína, caseína, lactosa, SNG y ST en el orden de 4.85, 3.6, 2.9, 4.75, 9.0 y 13.9%, lo cual es atribuido a la mayor frecuencia de vacas Jersey en el hato. Carroll et al. (2006) observaron que la raza tiene efecto en el contenido de grasa (Jersey>Holstein) y lactosa (Holstein>Jersey) lo que no ocurrió para el contenido de grasa en este estudio. Otros estudios han encontrado efecto de genotipo en la composición de la leche (White et al. 2001, Carroll et al. 2006), quienes mencionan que la leche de vacas Jersey tuvo el mayor porcentaje de grasa, proteína, SNG y ST respecto a Holstein y Pardo Suizo. Mientras White et al. (2001) no encontraron diferencia entre razas para porcentaje de lactosa. Los mayores

contenidos de los componentes de la leche en las vacas *Bos indicus*-*Bos taurus* comparadas con las vacas Holstein x Gyr pueden deberse a un efecto de dilución por el mayor volumen de producción de las vacas Holstein x Gyr.

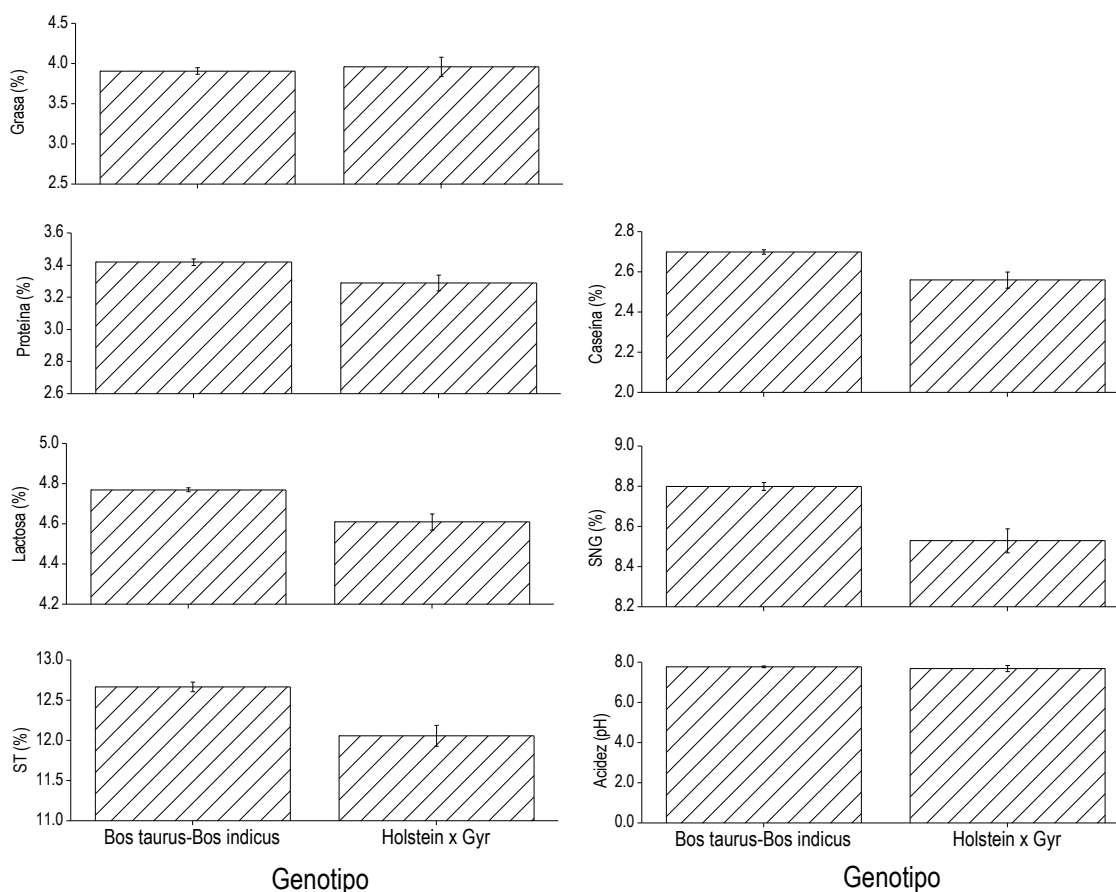


Figura 23. Composición de la leche de los genotipos *Bos taurus*-*Bos indicus* y Holstein x Gyr en el sureste de México.

Calidad de La leche comparada con NMX-F-700-COFOCALEC-2004 y la NOM-155-SCFI-2003.

En el Cuadro 45 se presentan los porcentajes de las muestras que alcanzaron los estándares de calidad establecidos por la norma NMX-F-700-COFOCALEC-2004 para grasa, proteína, lactosa y SNG; así como la NOM-155-SCFI-2003 para caseína y ST.

Cuadro 45. Porcentajes de muestras de leche de vacas doble propósito de cinco ranchos en el sureste de México que sobrepasan los estándares nacionales de calidad.

Indicador	Componente					
	Grasa*	Proteína*	Caseína**	Lactosa**	SNG*	ST**
Rancho 1 (n= 193)						
CLASE A	85.45	81.35	93.78	88.60	81.87	80.83
Rancho 2 (n= 98)						
CLASE A	81.63	63.27	82.65	80.61	72.45	82.65
Rancho 3 (n= 239)						
CLASE A	84.10	66.53	87.03	85.36	79.92	82.01
Rancho 4 (n= 220)						
CLASE A	71.36	79.09	90.45	97.73	93.64	80.00
Rancho 5 (n= 218)						
CLASE A	77.52	80.73	91.28	86.24	84.40	90.37
Media general	3.91	3.41	2.68	4.74	8.77	12.57

*De acuerdo con los estándares de la NMX-F-700-COFOCALEC-2004.

**De acuerdo con los estándares de la NOM-155-SCFI-2003.

La mayoría de las muestras sobrepasan los estándares de calidad mencionados. Del total de las muestras analizadas (n= 971), el 80.02, 77.24, 91.45, 90.11, 86.10 y 80.84% alcanzan los estándares de grasa, proteína, lactosa, sólidos no grasos (SNG) y sólidos totales (ST), respectivamente.

Los porcentajes de muestras que superaron los estándares nacionales de calidad en el contenido de grasa, proteína y lactosa, son mayores a los mencionados por Hershberger (2012) con vacas en estabulación sin embargo, los porcentajes de muestras que sobrepasaron los estándares de caseína, SNG y ST son menores a los mencionados por este autor quien reporta 66, 70, 98, 63, 94, 86% de muestras que sobrepasaron los estándares nacionales de calidad para grasa, proteína, caseína, lactosa, SNG y ST. Para animales en pastoreo Hershberger (2012) reporta en promedio 98, 88, 86.5, 100, 96.5, 99.5% de muestras Clase A que son mayores a las de este estudio. Castillo (2007) encontró que la leche de vacas en estabulación estuvo por debajo de los

estándares establecidos por la NMX-F-700-COFOCALEC-2004 para porcentaje de grasa. Vibart *et al.* (2008) mencionan que vacas en pastoreo producen leche con mayor porcentaje de grasa; no obstante, otros estudios (Bargo *et al.* 2002) señalan que vacas en estabulación producen leche con más porcentaje de grasa que aquellas en pastoreo.

12.6 CONCLUSIONES

La época del año afecta la composición fisicoquímica de la leche, siendo en la época seca cuando se observan las mayores concentraciones de grasa, proteína, caseína, lactosa, sólidos no grasos (SNG) y sólidos totales (ST).

El genotipo de las vacas afecta la composición fisicoquímica de la leche siendo las vacas *Bos- taurus-Bos indicus* las que presentan mayores concentraciones de proteína, caseína, lactosa, sólidos no grasos (SNG) y sólidos totales (ST) comparadas con las vacas Holstein x Gyr en el sistema de producción doble propósito en condiciones de trópico húmedo en el sureste de México.

Las vacas en pastoreo en el sistema de producción de doble propósito en el sureste de México produjeron leche que sobrepasa los estándares establecidos en la NMX-F-700-COFOCALEC-2004 y NOM-155-SCFI-2003 en el 80.02, 77.24, 91.45, 90.11, 86.10, 80.84% de las muestras para grasa, proteína, caseína, lactosa, sólidos no grasos y sólidos totales, respectivamente.

Los resultados de este estudio muestran que la leche de bovinos en el trópico es una excelente fuente de nutrientes esenciales y de buena calidad para quienes la consuman, así mismo, son necesarios más estudios en el área de inocuidad y manejo sanitario que permitan desarrollar

tecnologías para mejorar la calidad de la leche, así como darle un valor agregado e incrementar la rentabilidad del sistema de producción doble propósito en el trópico.

12.7 LITERATURA CITADA

- Alais C (2003) Ciencia de la Leche. Principios de Técnica Lechera. Cuarta Edición. Reverté. Barcelona, España. 877 p.
- Bargo F, Muller LD, Delahoy JE, and Cassidy TW (2002) Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *Journal of Dairy Science* 85: 2948-2963.
- Blanco OMA (2010) Zootecnia de bovinos productores de leche. *In: Introducción a la Zootecnia*. Trujillo OME (ed.) Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de México. pp: 127-161.
- Carroll SM, DePeters EJ, Taylor SJ, Rosenberg M, Perez-Monti H, Capps VA (2006) Milk composition of Holstein, Jersey and Brown Swiss cows in response to increasing levels of dietary fat. *Animal Feed Science and Technology* 131: 451-473.
- Castillo MT (2007) Calidad de leche y cuenta de células somáticas en el ganado Jersey y Holstein en México. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 164 p.
- Escobedo MJG (1989) Estudios agronómicos y valor nutritivo del pasto Guinea (*Panicum maximum*) en la zona ganadera del estado de Yucatán. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. 124 p.
- Hazard TS (1997) Variación de la composición de la leche. Serie Carillanca N° 62. *In: Curso taller Calidad de Leche e Interpretación de Resultados de Laboratorio*. Temuco, Chile. pp: 33- 44.
- Herrera C (1995) Manual de Laboratorio de Química de Alimentos. Ed. Escuela de Química, Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. 100 p.
- Hershberger AU (2012) Producción y calidad de leche de vacas en pastoreo o en estabulación. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. México. 64 p.
- Hurley WL (2009) Milk Composition and Synthesis. <http://classes.ansci.illinois.edu/ansc438/Milkcompsynth/milkcompsynthresources.htm> I. Consultada el 15 de abril de 2015.
- INEGI (2009) Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Catatzajá, Chiapas. Clave geoestadística 07016. 9 p.
- Latrille L (1993) El valor nutritivo de la leche bovina y factores que alteran su composición. *Producción Animal*. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal. Valdivia. Chile. pp: 27-56.

- Lawrence RC (1991) Cheese yield potential of milk. Factors affecting the yield of cheese. International Dairy Federation: Proceedings of the IDF Seminar held in Palmerston North. New Zealand. pp: 109-120.
- NMX-F-700-COFOCALEC-2004 (Consejo para el Fomento de la Calidad de la Leche y sus Derivados, A.C.) (2004) Norma Mexicana NMX-F-700-COFOCALEC-2004. Sistema Producto Leche-Alimento Lácteo- Leche Cruda de Vaca. Especificaciones Físico-Químicas y Sanitarias y Métodos de Prueba. México.
- NOM-155-SCFI-2003 (Norma Oficial Mexicana NOM-155-SCFI-2003) (2003) Leche, fórmula láctea y producto lácteo combinado-Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba. http://www.cednna.oaxaca.gob.mx/pdf/normatividad/Reglas_div/rd8.pdf. Consultada 12 de agosto de 2014.
- Santos A (2007) Leche y sus Derivados. Editorial Trillas. 2a. ed. México. 27-33 pp.
- SAS (2004) Statistical Analyses System. SAS/STAT 9.1. User's Guide. Vol. 1-7. SAS Publishing. Cary, NC, USA. 5180 p.
- Steel RGD, Torrie JH, Dickey DA (1997) Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 3rd ed. McGraw-Hill Series in Probability and Statistics. USA. 622 p.
- Tamayo JL (1989) Geografía Moderna de México. 9ª Edición. Trillas. D. F. México. 544 p.
- Vargas NT (2006) Calidad de la leche: visión de la industria láctea. Fundación INLACA. Facultad de Ciencias Veterinarias. Venezuela. 6 p.
- Vibart RE, Fellner V, Burns JC, Huntington GB, Green Jr JT (2008). Performance of lactating dairy cows fed varying levels of total mixed ration and pasture. Journal of Dairy Research 75: 471-480.
- White SL, Bertrand JA, Wade MR, Washburn SP, Green Jr. JT, Jenkins TC (2001) Comparison of fatty acid content of milk from Jersey and Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. Journal of Dairy Science 84: 2295-2301.