

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL
DOCTORADO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

**EVALUACIÓN MINERAL DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA
SILVOPASTORIL CON *Leucaena leucocephala* EN APATZINGÁN Y
TEPALCATEPEC, MICHOACÁN, MÉXICO**

TESIS

Que como requisito parcial

Para obtener el grado de:

Doctor en Ciencias en Innovación Ganadera

Presenta:

ANDRÉS CAMILO RODRÍGUEZ SERRANO

Bajo la supervisión de: Alejandro Lara Bueno, Dr.



Chapingo, Estado de México

**EVALUACIÓN MINERAL DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA
SILVOPASTORIL CON *Leucaena leucocephala* EN APATZINGÁN Y
TEPALCATEPEC, MICHOACÁN, MÉXICO**

Tesis realizada por Andrés Camilo Rodríguez Serrano, bajo la supervisión 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:

Dr. Alejandro Lara Bueno

ASESOR:

Ph.D. Maximino Huerta Bravo

ASESOR:

Ph.D. José Guadalupe García Muñiz

ASESOR:

Espacio para el asesor externo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que en algún momento contribuyeron de diferentes formas a la obtención de este grado académico. Del mismo modo, mi especial agradecimiento a la Universidad Autónoma Chapingo, el Posgrado en Producción Animal y, por último, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo financiero otorgado.

DATOS BIOGRÁFICOS

Nombre: Andrés Camilo Rodríguez Serrano

Fecha de nacimiento: 12 de Agosto de 1987

Lugar de Nacimiento: Bogotá, Colombia

No. De Cartilla militar:

CURP: ROSA870812HNEDRN01

Profesión: Zootecnista

Cédula Profesional:

Desarrollo Académico:

Bachillerato: Colegio Liceo Samario. Bogotá, Colombia.

Licenciatura: Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales UDCA, Colombia.

Maestría: Universidad Autónoma Chapingo, México.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	3
3. MINERALES EN LA NUTRICIÓN ANIMAL.....	6
3.1 Funciones de los minerales.....	7
3.1.1 Estructural	7
3.1.2 Fisiológica.....	7
3.1.3 Catalítica.....	7
3.1.4 Regulatoria	7
3.2 Interacciones entre minerales y otros nutrientes.....	8
3.3 Biodisponibilidad	11
3.4 Requerimientos	11
3.4.1 Calcio y fósforo.....	13
3.4.1.1 Requerimientos	13
3.4.1.2 Deficiencia.....	14
3.4.1.3 Toxicidad.....	14
3.4.2 Magnesio	14
3.4.2.1 Requerimientos	15
3.4.2.2 Deficiencia.....	15
3.4.2.3 Toxicidad.....	15
3.4.3 Potasio.....	16
3.4.3.1 Requerimientos	16
3.4.3.2 Deficiencia.....	16
3.4.3.3 Toxicidad.....	17
3.4.4 Sodio y cloro.....	17
3.4.4.1 Requerimientos	17
3.4.4.2 Deficiencia.....	18
3.4.4.3 Toxicidad.....	18
3.4.5 Cobre.....	18
3.4.5.1 Requerimientos	19
3.4.5.2 Interacción cobre – hierro.....	19
3.4.5.3 Interacción cobre - manganeso	20
3.4.5.4 Deficiencia.....	20
3.4.5.5 Toxicidad.....	20
3.4.6 Zinc.....	20
3.4.6.1 Requerimientos	21
3.4.6.2 Deficiencia.....	21
3.4.6.3 Toxicidad.....	21
3.4.7 Hierro.....	22
3.4.7.1 Requerimientos	22
3.4.7.2 Deficiencia.....	22
3.4.7.3 Toxicidad.....	22
3.5 FORRAJES COMO FUENTE DE MINERALES	23
3.6 LITERATURA CITADA.....	24

4. <i>Leucaena leucocephala</i> FOR ANIMAL NUTRITION AND ITS EFFECTS ON PRODUCTIVE PERFORMANCE: A REVIEW.....	26
<i>Leucaena leucocephala</i> PARA LA NUTRICIÓN ANIMAL Y SUS EFECTOS EN EL RENDIMIENTO PRODUCTIVO: UNA REVISIÓN	26
4.1 RESUMEN	26
4.2 INTRODUCCIÓN	27
4.3 ORIGEN DE LA INFORMACIÓN	27
4.3.1 Aspectos generales de la revisión	28
4.4 PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y VALOR NUTRITIVO.....	28
4.4.1 Características nutricionales y producción animal.....	32
4.4.2 Caprinos	32
4.4.3 Ovinos	34
4.4.4 Bovinos.....	34
4.4.5 Porcinos.....	35
4.4.6 Conejos	36
4.4.7 Otras especies.....	37
4.4.8 Toxicidad y contenido de mimosina.....	37
4.4.9 Actividad antiparasitaria.....	39
4.5 CONCLUSIONES.....	40
4.6 AGRADECIMIENTOS	40
4.7 REFERENCIAS BIBLOGRÁFICAS.....	40
5. EVALUACIÓN MINERAL DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA SILVOPASTORIL INTENSIVO CON <i>Leucaena leucocephala</i> , EN TRES ÉPOCAS DEL AÑO, EN APATZINGÁN Y TEPALCATEPEC, MICHOACÁN, MÉXICO	48
5.1 INTRODUCCIÓN	50
5.2 MATERIALES Y MÉTODOS	51
5.2.1 Sistema Silvopastoril Intensivo	51
5.2.2 Muestreos.....	52
5.2.3 Gramíneas y arbóreas	52
5.2.4 Suero sanguíneo	52
5.2.5 Suelo y agua.....	52
5.2.6 Análisis de minerales.....	53
5.2.7 Análisis estadístico	53
5.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	54
5.3.1 Suelo y agua.....	54
5.3.1 Forraje	57
5.3.2 Suero sanguíneo	60
5.4 CONCLUSIONES.....	63
5.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
6. INDICADORES DE BIENESTAR ANIMAL PARA VACAS LECHERAS EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL Y PASTOREO TRADICIONAL EN SABOYÁ, BOYACÁ, COLOMBIA	67
6.1 RESUMEN	67

6.2	ANIMAL WELFARE INDICATORS FOR DAIRY CATTLE IN SILVOPASTORAL AND TRADITIONAL SYSTEMS IN SABOYÁ, BOYACÁ, COLOMBIA	68
6.3	ABSTRACT	68
6.4	INTRODUCCIÓN	69
6.5	MATERIALES Y MÉTODOS	70
6.5.1	Número de moscas, temperatura de capa, frecuencia respiratoria y actividad.....	70
6.5.2	Distancia de fuga y suciedad	70
6.5.3	Presencia de mastitis subclínica.....	71
6.5.4	Análisis estadístico	71
6.6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	71
6.6.1	Número de moscas.....	71
6.6.2	Temperatura de capa y frecuencia respiratoria	73
6.6.3	Actividad	74
6.6.4	Distancia de fuga y suciedad.....	75
6.6.5	Mastitis Subclínica	76
6.7	CONCLUSIONES.....	77
6.8	AGRADECIMIENTOS	78
6.9	REFERENCIAS.....	78

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Macro y micro minerales.....	6
Cuadro 2.	Requerimientos de Ca y P para vacas lactantes y toros de engorda.	14
Cuadro 3.	Requerimientos de Mg para vacas lactantes y toros de engorda. ...	15
Cuadro 4.	Requerimientos de K para vacas lactantes y toros de engorda.....	16
Cuadro 5.	Requerimientos de Na y Cl para vacas lactantes y toros de engorda.	18
Cuadro 6.	Requerimientos de Cu para vacas lactantes y toros de engorda. ...	19
Cuadro 7.	Requerimientos de Zn para vacas lactantes y toros de engorda.	21
Cuadro 8.	Requerimientos de Fe para vacas lactantes y toros de engorda.	22
Cuadro 9.	Artículos por área y especie	28
Cuadro 10.	Producción de biomasa y valor nutritivo de <i>Leucaena leucocephala</i>	29
Cuadro 11.	Composición mineral del forraje de <i>Leucaena leucocephala</i>	31
Cuadro 12.	Comparación entre el contenido mineral de <i>Leucaena leucocephala</i> y los requerimientos de diferentes especies.....	32
Cuadro 13.	Ganancia diaria de peso a diferentes niveles de inclusión de <i>Leucaena leucocephala</i>	35
Cuadro 14.	Concentración de mimosina en <i>Leucaena leucocephala</i>	38
Cuadro 15.	Efecto del rancho para la concentración de minerales totales en suelo en Apatzingán y Tepalcatepec, Michoacán.....	55

Cuadro 16. Efectos de la especie forrajera en las variables del análisis proximal, de las fibras y minerales para leucaena y tanzania presentes en SSPi de Aptazingán y Tepalcatepec, Michoacán, México.....	58
Cuadro 17. Efectos del rancho para la concentración de minerales en T y LL, presentes en SSPi de Aptazingán y Tepalcatepec, Michoacán.	59
Cuadro 18. Concentración de minerales en suero sanguíneo de vacas y crías presentes en SSPi en dos ranchos de Apatzingán y Tepalcatepec, Michoacán, en tres épocas del año.	62
Cuadro 19. Distancia de fuga y nivel de suciedad de vacas presentes en un sistema silvopastoril y uno tradicional, en Boyacá, Colombia.	76
Tabla 20. Porcentaje de animales con niveles de mastitis subclínica según el California mastitis test (CMT).	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Interacciones metabólicas de los elementos esenciales (Georgievskii <i>et al.</i> , 1982).	10
Figura 2. Concentración mineral y su relación con la salud animal (NRC, 2005).	12
Figura 3. Factores que pueden afectar la disponibilidad de minerales en las plantas (Suttle, 2010).	23
Figura 4. Concentración de proteína cruda (CP) de <i>Leucaena leucocephala</i> en época seca y de lluvias.	30
Figura 5. Ganancias diarias de peso para caprinos a diferentes niveles de inclusión de <i>Leucaena leucocephala</i>	33
Figura 6. Efecto de la época del año sobre la concentración de Cu, Zn, Fe, Ca, K y Mg totales en el suelo de dos ranchos en Apatzingán y Tepalcatepec, Michoacán.....	56
Figura 7. Efecto de la época del año en la concentración de minerales en leucaena y pasto tanzania, en Apatzingán y Tepalcatepec, Michoacán, México.	60
Figura 8. Distribución del número de moscas <i>Haematobia irritans</i> durante el día en un sistema silvopastoril y uno tradicional en Boyacá, Colombia.	72
Figura 9. Número de moscas <i>Haematobia irritans</i> en 10 meses de estudio en un sistema silvopastoril y uno tradicional en Boyacá, Colombia.	73
Figura 10. Temperatura de capa y frecuencia respiratoria durante el día de vacas lecheras en un sistema silvopastoril y uno tradicional de Boyacá, Colombia... ..	74
Figura 11. Actividad de vacas lecheras en un sistema silvopastoril y uno tradicional en Boyacá, Colombia.	75

RESUMEN GENERAL

Los desórdenes nutricionales que incluyen deficiencia, toxicidad y desbalances de diferentes minerales, son aspectos relevantes de la desnutrición que pueden afectar el comportamiento productivo de bovinos en pastoreo, en especial en regiones donde la falta de una correcta suplementación favorece un abastecimiento incompleto de los requerimientos minerales para cada etapa de producción. Ante esta problemática la ciencia agroforestal propone el establecimiento de sistemas silvopastoriles intensivos que aumenten la oferta y calidad del alimento ofrecidos a rumiantes, mediante la incorporación de árboles forrajeros como *Leucaena leucocephala* (LL) que ayudan a complementar los sistemas de producción convencionales. El objetivo del trabajo fue el de evaluar la capacidad de un sistema silvopastoril intensivo con LL para satisfacer los requerimientos minerales de vacas lecheras en pastoreo. La revisión de literatura incluye datos obtenidos de 115 artículos científicos sobre el valor nutricional, relación con la producción animal, contenido de mimosina y actividad antiparasitaria de LL. Los niveles de inclusión de LL fueron de 10 a 80% de la dieta. Se documentaron efectos adversos cuando LL compuso más de 50% de la misma, en animales estabulados. Las ganancias diarias de peso para caprinos variaron de 20.0 a 94.6 g d⁻¹; ovinos de 35.0 a 106.4 g d⁻¹; bovinos de 20.0 a 1500.0 g d⁻¹. Para determinar el grado en que LL presente en sistemas silvopastoriles puede contribuir con un mejor balance mineral para rumiantes en pastoreo, fueron analizados los componentes suelo, agua, follaje de LL, pasto tanzania (T; *Megathyrus maximus*) y suero sanguíneo para determinar su concentración mineral. Se observó que la asociación de LL y T mejora el balance de nutrientes, así como la relación Ca:P y niveles de Mg y Ca, no obstante, se presentan deficiencias de Cu, Zn y P los cuales para las condiciones de estudio estuvieron por debajo del requerimiento para vacas lecheras en LL y T y por debajo de los rangos normales en suero sanguíneo. Adicionalmente se realizó una evaluación de indicadores de bienestar animal para vacas lecheras en sistemas silvopastoriles del municipio de Saboyá, Boyacá, Colombia, concluyendo que los sistemas silvopastoriles favorecen una disminución de la presencia de *Haematobia irritans*, reducción de la temperatura en las horas de mayor temperatura y mantenimiento de una frecuencia respiratoria más constante; por la presencia de árboles en los potreros, los cuales ofrecen una diversificación del ecosistema, que genera mejores condiciones para la permanencia de vacas en pastoreo.

Palabras clave: Sistemas silvopastoriles, nutrición, balance mineral, *Leucaena leucocephala*, bienestar animal.

GENERAL ABSTRACT

Nutritional disorders that include deficiency, toxicity and mineral imbalances, are relevant issues of malnutrition that can affect the productive performance of grazing cattle, especially in places the lack of an adequate supplementation allows an incomplete offer of the nutritional requirements for each productive stage. In the face of that problem, agroforestry proposes the establishment of intensive silvopastoral systems that increase the food offer and quantity for ruminants, by the addition of forage trees like *Leucaena leucocephala* (LL) which complement the conventional production systems. A review paper included data from 115 papers about the nutritional value, relationship with animal performance, mimosine content and activity against parasites of LL. Levels of inclusion were from 10 to 80% percent of the diet, it was registered adverse effects when more than 50% of the diet was LL. The average daily gains for goats were from 20.0 to 94.6 g d⁻¹; sheep from 35.0 to 106.4 g d⁻¹; cattle from 20.0 to 1500.0 g d⁻¹. To establish the degree, which LL can contribute with a better mineral balance for grazing ruminants, soil, water, leucaena leaves, Tanzania grass *Megathyrsus maximus* (T) and blood serum was analyzed to assess their mineral concentration. It was observed that the association of LL and T improves the nutrient balance, as well the Ca:P ratio, Ca and Mg levels, however deficiencies of Cu, Zn and P prevail, which, were below the requirement for dairy cattle in LL and T, and below the normal levels in blood serum. Additionally, an evaluation of animal welfare indicators for dairy cattle in Saboyá, Boyacá, Colombia was undertaken. It is concluded that silvopastoral systems favor a decrease in the presence of *Haematobia irritans*, reduction of temperature during the hottest hours of the day due to the presence of trees on pastures, which offer an ecosystem diversification, that generates better grazing conditions for dairy cattle.

Keywords: Silvopastoral systems, nutrition, mineral balance, *Leucaena leucocephala*, animal welfare.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Todas las formas de vida requieren diferentes cantidades y proporciones de elementos minerales para el funcionamiento normal de sus procesos vitales McDowell (2003). Por lo tanto, el balance de esos minerales es un aspecto relevante de la nutrición animal que incide en la salud y el comportamiento productivo de los animales (McDowell, 1985). Dado que los minerales cumplen funciones en el organismo de tipo estructural, fisiológico, catalítico y regulador (Suttle, 2010) las dietas y suplementos otorgados tienen que garantizar la incorporación de todos aquellos elementos que son esenciales para cumplir con los requerimientos estrechamente ligados a los niveles de producción, a la vez que se controlan situaciones de toxicidad y desbalances mineral.

Para el caso específico de rumiantes en pastoreo, los forrajes normalmente no satisfacen los requerimientos de los animales y existen dificultades para suplementar minerales de una forma rentable (McDowell, 1996); por lo que es necesario encontrar alternativas, que permitan complementar la nutrición animal y garanticen adecuada oferta de nutrientes, incluidos los minerales.

Los sistemas agroforestales plantean la posibilidad de vincular árboles forrajeros a sistemas de producción pecuaria en pastoreo, mediante arreglos silvopastoriles intensivos (más de 7000 árboles ha⁻¹) (Gaviria et al., 2012) que aumenten la oferta de alimento y la cantidad de nutrientes que se ofrecen a los rumiantes, especialmente bovinos, ya que las especies leñosas tienen la capacidad de absorber y almacenar elementos traza del suelo por periodos largos (Domínguez *et al.*, 2008), por lo cual, el forraje de algunas arbóreas como *Leucaena leucocephala*, utilizada ampliamente en sistemas silvopastoriles intensivos, es reconocido por el potencial que tiene para complementar la alimentación de rumiantes, gracias a la concentración de minerales que presenta (Aye y Adegun, 2013). No obstante, el contenido mineral de los forrajes tropicales puede variar por diversos factores que incluyen entre otros, el suelo, clima, madurez y manejo del cultivo forrajero (McDowell, 1996) y, por ende, afectar la correcta nutrición de los animales. Por este motivo, el objetivo de la presente investigación fue determinar el aporte y estado mineral de los componentes de

un sistema silvopastoril intensivo con *Leucaena leucocephala*, en tres épocas del año en Apatzingán y Tepalcatepec, Michoacán, para desarrollar estrategias de suplementación que permitan mejorar el estado nutricional de bovinos criollo lechero tropical, suizo y cruce comercial.

Estructura de la tesis

El **capítulo 2** presenta una revisión de literatura respecto al papel de los minerales en la nutrición animal, especialmente rumiantes, funciones, metabolismo y requerimientos.

El **capítulo 3** presenta un artículo de revisión sobre el uso *Leucaena leucocephala* en la nutrición animal y posibles oportunidades de investigación.

El **capítulo 4** consta de un artículo científico respecto a la evaluación mineral de los componentes de un sistema silvopastoril intensivo (suelo, agua, leucaena, pasto tanzania y suero sanguíneo).

El **capítulo 5** consta de un artículo científico sobre indicadores de bienestar animal para vacas lecheras en sistemas silvopastoriles de Saboyá, Boyacá, Colombia.

Literatura citada

Aye, P. A., & Adegun, M. K. (2013). Chemical composition and some functional properties of Moringa, Leucaena and Gliricidia leaf meals. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 4(1), 71–77. doi:10.5251/abjna.2013.4.1.71.77

Domínguez M. T., Marañón, T., Murillo, J. M., Schulin, R., & Robinson, B. H. (2008). Trace element accumulation in woody plants of the Guadamar Valley, SW Spain: A large-scale phytomanagement case study. *Environmental Pollution*, 152, 50–59. doi:10.1016/j.envpol.2007.05.021

Gaviria X., Sossa, C., Montoya C., Chará J., Lopera J., Cordoba C., & Barahonna R., (2012). Producción de carne bovina en sistemas silvopastoriles intensivos en el trópico bajo colombiano. VII Congreso Latinoamericano de sistemas agroforestales para la producción animal sostenible. Belém do Pará, Brasil. p. 661-665

Mcdowell, L. R. (1985). *Nutrition of grazing ruminants in warm climates*. Orlando: Academic press, INC.

McDowell, L. R. (1996). Feeding minerals to cattle on pasture. *Animal Feed Science and Technology*, 60(3–4), 247–271. doi:10.1016/0377-8401(96)00983-2.

McDowell, L. R. (2003). *Minerals in animal and human nutrition* (2nd ed.). Amsterdam: Elsevier.

Suttle, N. (2010). *Mineral nutrition of livestock. Mineral nutrition of livestock.* (4th ed.). Wallingford: CABI Publishing. doi: 10.1079/9781845934729.0000

2. MINERALES EN LA NUTRICIÓN ANIMAL

Los elementos inorgánicos o minerales son el componente de las cenizas resultantes de la incineración de la materia orgánica. Según McDowell (2003), todas las formas de vida requieren de algunos de estos minerales para el funcionamiento normal de todos los procesos vitales del animal y deben estar presentes en diferentes cantidades y proporciones, ya que diferentes tipos de minerales están vinculados como parte de la cadena metabólica junto con elementos orgánicos. Ejemplo de esto se observa en el metabolismo del fósforo que complementa procesos de proteínas, carbohidratos, lípidos y energía (Georgievskii et al., 1982). De este modo, la necesidad de cualquier mineral determina su esencialidad, lo que se refiere a elementos para los cuales se ha comprobado un rol metabólico en el cuerpo animal mediante dietas purificadas que generen la manifestación de signos de deficiencia y que los mismos, puedan ser erradicados o prevenidos, mediante la adición del mineral faltante (McDonald et al., 2011).

Además de ser agrupados por su esencialidad, los minerales pueden ser clasificados de acuerdo con la cantidad en que son requeridos por los animales (Cuadro 1). Por ejemplo, aquellos que se requieren en mayor cantidad se conocen como macro minerales, y aquellos cuyo requerimiento es menor se denominan micro minerales. Tales términos no implican menor importancia biológica entre ambos grupos, simplemente es una forma de agrupar a los elementos que se requieren en cantidades mayores o menores a 100 mg kg⁻¹, respectivamente (McDowell, 2003).

Cuadro 1. Macro y micro minerales

Macro minerales		Micro minerales	
Calcio	(Ca)	Cobalto	(Co)
Potasio	(K)	Cromo	(Cr)
Sodio	(Na)	Yodo	(I)
Azufre	(S)	Molibdeno	(Mo)
Fósforo	(P)	Zinc	(Zn)
Magnesio	(Mg)	Cobre	(Cu)
Cloro	(Cl)	Hierro	(Fe)
		Manganeso	(Mn)
		Selenio	(Se)

Tomado de: (McDowell, 2003).

2.1 Funciones de los minerales

Los minerales llevan a cabo diferentes tipos de funciones en los animales, las cuales pueden ser de tipo estructural, fisiológico, catalítico y regulatorio (McDowell, 2003; Suttle, 2010).

Estructural

Los minerales pueden formar componentes estructurales de diferentes tejidos. El ejemplo más representativo se observa en los huesos, los cuales se forman por la fijación de Ca y P como hidroxapatita dentro de una matriz ósea; el Ca, P, Mg, F (flúor) y Si (silicio) en los huesos y dientes, contribuyen a la estabilidad mecánica de los mismos. Asimismo, la presencia de Zn y P contribuye a la estabilidad de las moléculas y membranas del tejido animal (McDowell, 2003; Suttle, 2010).

Fisiológica

Los minerales están presentes en forma de sales solubles en fluidos y tejidos corporales, en el espacio intracelular, fluido intersticial, sangre y linfa. Na, K y Cl están presentes en mayor concentración que el Ca y Mg, parte del mantenimiento de la presión osmótica, balance hídrico, equilibrio ácido-base, permeabilidad de las membranas y transmisión de impulsos nerviosos (Georgievskii *et al.*, 1982; McDowell, 2003; Suttle, 2010).

Catalítica

Los minerales pueden actuar como catalizadores en sistemas enzimáticos y endocrinos como componentes de la estructura de metaloenzimas, como citocromo oxidasa (Fe y Cu), carboxipeptidasas (Zn) y xantina oxidasa (Fe y Mo); hormonas como el caso de la tiroxina de la glándula tiroides o la interacción entre Zn e insulina (Georgievskii *et al.*, 1982; Suttle, 2010).

Regulatoria

Los minerales pueden tener funciones reguladoras, en las que pueden ejercer algún control sobre la replicación y diferenciación de las células. Por ejemplo el Ca influye en la transducción, mientras que el Zn en la transcripción; del mismo

modo, el yodo (I), al ser constituyente de la tiroxina y triyodotironina afecta directamente la función de la glándula tiroides (McDowell, 2003).

2.2 Interacciones entre minerales y otros nutrientes

Los minerales pueden interactuar consigo mismos u otros nutrientes, esta interacción puede ser sinérgica o antagonista, en el tracto digestivo o en el metabolismo (Georgievskii et al., 1982). Las interacciones entre minerales son la mayor causa que afecta la biodisponibilidad y su valor nutritivo (Suttle, 2010). Los minerales tienen una mayor tendencia a interactuar, que otros nutrientes, debido a su labilidad y predisposición a formar uniones químicas (Enry e Iles, 2000). Las interacciones fisiológicas entre dos o más iones pueden tener efectos significativos en la salud y el bienestar animal, ya que se incluyen elementos esenciales que pueden tener efectos antagónicos e inducir una deficiencia de su contraparte, debido a que un ion puede ser esencial o tener efectos adversos para la utilización o absorción de otro, por tal motivo el término interacción se usa para describir aquellas interrelaciones entre minerales y se puede definir como el efecto de un elemento sobre uno o más elementos generando una consecuencia fisiológica o bioquímica (O'Dell y Sunde, 1997).

Existen interacciones sinérgicas que se pueden definir como aquellas que mutuamente desencadenan la absorción de elementos en el tracto digestivo y cumplir así alguna función metabólica a nivel tisular o celular (Georgievskii et al., 1982); éstas se dan entre elementos en procesos estructurales, como la necesidad de Cu y Fe para la formación de hemoglobina, la interacción de Mg con Zn en la conformación de moléculas de ARN, o el papel del Ca y el P en la formación de hidroxapatita en los huesos. Del mismo modo, las interacciones se pueden dar en la participación simultánea de elementos en la acción de las enzimas, como en el caso de Ca, Fe y Mo en la xantina oxidasa, o Cu y Fe en la citocromo oxidasa (Enry e Iles, 2000). Las interacciones antagónicas (Figura 1) son aquellas que inhiben la absorción de otro mineral en el tracto digestivo y producen efectos opuestos en cualquier función bioquímica en el organismo (Georgievskii et al., 1982); estas involucran reacciones químicas que forman complejos insolubles entre minerales, lo que ocurre cuando dos o más minerales en el lumen, compiten por el mismo ligando aniónico portador de electrones, el ligando puede ser un compuesto orgánico como el ácido fítico, o inorgánico como

el fosfato. Estas reacciones suelen ocurrir cuando el pH incrementa a través del tracto digestivo, lo que genera que las características solubles se pierdan y los metales se unan con un anión o ligando, formando complejos muy estables, pero altamente insolubles, lo que evita la absorción. Por ejemplo, en una sal con ácido fítico precipitado, minerales como Ca y Zn no pueden ser transportados por las proteínas a través de la membrana celular, lo que disminuye su absorción, el mismo principio aplica para sustancias presentes en la dieta que pueden formar complejos de sales insolubles con varios cationes; por ejemplo, el fosfato de Ca que es soluble en un ambiente ácido, puede interferir con la absorción de minerales cuando sus aniones reaccionan con cationes como los del Fe y forman complejos insolubles (fosfato de hierro), lo que puede causar síntomas de deficiencia de este último elemento (Ashmead, 1993).

Existen también interacciones entre minerales que involucran competencia entre iones por moléculas transportadoras que están compuestas por proteínas, cuyos grupos funcionales transportadores de electrones llevan cationes del lumen al citoplasma de las células intestinales. La afinidad de un elemento por un transportador específico depende de su configuración y posición en la tabla periódica, por ejemplo, Cu y Fe comparten la misma molécula transportadora, la transferrina, que si se encuentra en cantidades suficientes tiene la capacidad de llevar ambos elementos a través de la pared celular, sin embargo si Fe y Cu en la dieta están otorgados en exceso, la absorción de Fe se inhibe por el Cu, por la mayor afinidad de este último por la transferrina (Ashmead, 1993).

A nivel celular también existen procesos antagónicos que resultan de la formación de complejos insolubles como la formación de tiomolibdatos de Cu, Mo y S, y del mismo modo, puede existir una competencia entre iones por centros activos en sistemas enzimáticos, como ocurre con el Mg y Mn en la fosfatasa alcalina, la competencia también se puede dar cuando un elemento puede activar una enzima y otro puede inhibirla, como el Mg y Ca con la ATPasa (Enry e Iles, 2000).

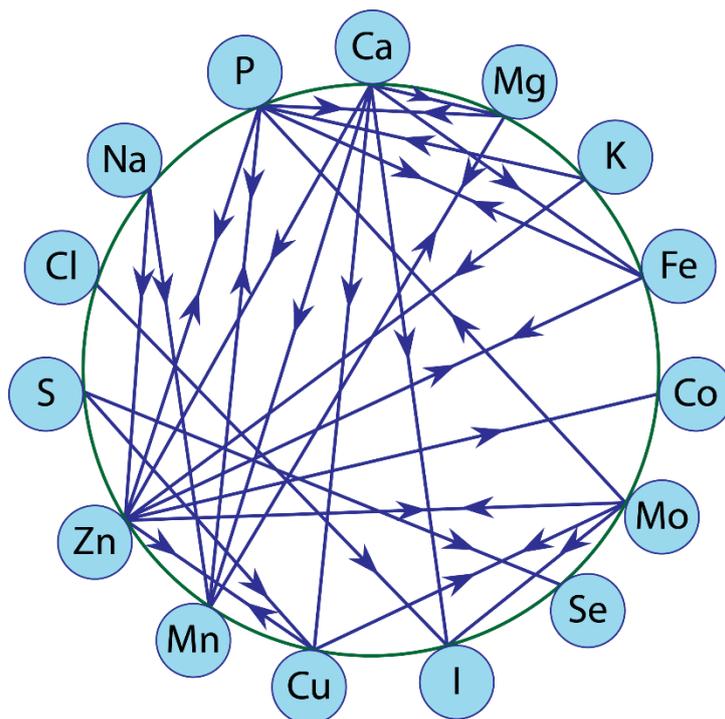


Figura 1. Interacciones metabólicas de los elementos esenciales (Georgievskii *et al.*, 1982).

Existen otros factores que influyen el metabolismo de los minerales, entre los que se encuentran la concentración y composición de la proteína en la dieta, así como la grasa, carbohidratos, vitaminas y aditivos como algunos antioxidantes y antibióticos. Por ejemplo, la vitamina D afecta la absorción del Ca, P, Mg, Zn y otros elementos, mientras que la vitamina C tiene efectos sobre la absorción de Fe, del mismo modo, excesos de niacina pueden inactivar la vitamina D, generando hipocalcemia. El porcentaje de grasa influye en la absorción de Mg y Ca ya que se pueden formar jabones insolubles de ácidos grasos; el nivel y la fuente de proteína determinan el grado de absorción de P, Mg, Zn, Cu y otros elementos en los alimentos de los rumiantes (Georgievskii *et al.*, 1982; Ashmead, 1993). Altos niveles de fibra también pueden afectar la absorción de Ca, Mg, Zn y P, ya que estos elementos en animales no rumiantes, son físicamente adsorbidos y químicamente unidos por la fibra y retenidos en las heces (Ashmead, 1993).

2.3 Biodisponibilidad

El término biodisponibilidad, puede definirse como el grado o la eficiencia en la que un nutriente ingerido, de una fuente en particular, es absorbido en una forma en la que pueda ser utilizado o almacenado por el cuerpo animal (Ammerman et al., 1995; Forbes y Erdman, 1983). El valor de los alimentos como fuente de minerales depende no solo de su contenido, sino también de la proporción en la que éstos pueden ser utilizados (Suttle, 2010). Según Ammerman et al. (1995) la biodisponibilidad, puede ser influenciada por la especie animal y por la demanda del nutriente en relación con su consumo en la dieta. Del mismo modo, cualquier función o estado fisiológico puede incrementar la demanda de un nutriente, por ejemplo, el crecimiento, desarrollo óseo, preñez, lactancia o enfermedad, pueden incrementar la utilización absoluta, especialmente cuando el consumo es menor al requerimiento mínimo del animal. También las interacciones con otros elementos de la dieta, incluyendo medicaciones, pueden afectar la biodisponibilidad de los minerales, la cual según Suttle (2010) tiene diferentes componentes: 1) Accesibilidad, la cual está determinada por la forma química de un mineral específico y sus interacciones sinérgicas y antagónicas, este es el mayor determinante de la biodisponibilidad y por lo tanto del requerimiento del animal; 2) Absorbabilidad está determinada por la capacidad de la mucosa del tracto gastrointestinal de incorporar un mineral, si los mecanismos de aceptación de un elemento no son específicos, un elemento puede disminuir la incorporación y posterior absorbabilidad de otro; 3) Retenibilidad se refiere a la habilidad de un mineral para escapar a la excreción vía renal o intestinal.

2.4 Requerimientos

Las funciones desarrolladas por los minerales, pueden únicamente ser satisfechas si suficientes cantidades del elemento ingerido son absorbidas y retenidas, para las funciones de crecimiento, desarrollo, reproducción y reemplazo de aquellos minerales que son usados en la formación de productos, como leche, huevos o en procesos vitales. Los requerimientos netos de minerales subestiman los requerimientos brutos, ya que los minerales no son completamente absorbidos, la diferencia entre estas dos estimaciones es inversamente proporcional a la eficiencia con la cual un mineral es absorbido.

Para elementos como Na y K, la absorción es virtualmente completa, mientras que para Cu y Mg, la mayoría del mineral otorgado permanece sin absorber (Suttle, 2010). Por tal motivo, existe un rango en el consumo de elementos que es adecuado y que modifica directamente su absorción: para los minerales esenciales, un incremento en el consumo es benéfico para el animal, hasta llegar al punto en el que llega a su requerimiento específico, a partir del cual una concentración mayor en la dieta lleva al nivel máximo tolerable, que de superarse, incurre en un detrimento de la salud del animal (Figura 2) (NRC, 2005).

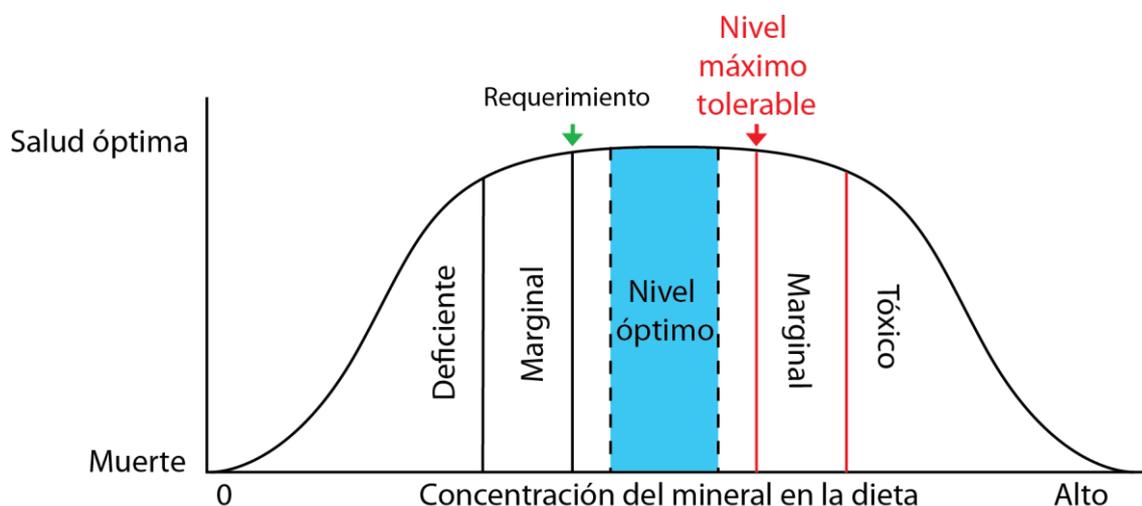


Figura 2. Concentración mineral y su relación con la salud animal (NRC, 2005).

Diversos factores afectan los requerimientos minerales, entre los que se encuentran la naturaleza del compuesto mineral y el nivel de producción, edad del animal, forma química, y las interrelaciones de los elementos con otros nutrientes, nivel de consumo de alimento, raza y adaptación animal (McDowell, 1985).

Los requerimientos minerales son altamente dependientes del nivel de producción y del estado fisiológico del animal, por ejemplo, una vaca joven de alta producción tendrá mayores requerimientos de Ca y P que una con menores índices productivos, debido que la leche es rica en estos elementos. También se pueden presentar diferencias en los requerimientos minerales debido a la raza y a la adaptación de cada animal, ya que individuos desarrollados en un área particular, se han adecuados a regímenes de crianza y alimentación específicos

y en ocasiones la introducción de especies diferentes, evidencia deficiencias minerales que antes no se observaban (McDowell, 1985).

Calcio y fósforo

El Ca y P son los dos minerales más abundantes en el cuerpo del animal. Ambos tienen una función vital en la mayoría de los tejidos, por lo que deben estar presentes en la dieta en cantidades y proporciones adecuadas (McDowell, 1985).

Cerca de 99% del Ca y 80% del P corporal se encuentran en el esqueleto, desempeñando funciones de soporte para músculos y protección de órganos y tejidos. La proporción de Ca que se encuentra fuera de los huesos se encuentra ligada a proteínas séricas y ácidos orgánicos e inorgánicos, 50 – 60% del Ca en el plasma es esencial para la conducción de impulsos nerviosos, contracción de músculos y señalización celular (Suttle, 2010). El P es ubicuo en el cuerpo, siendo esencial en los tejidos suaves para la realización de múltiples reacciones enzimáticas, especialmente las relacionadas con el metabolismo de energía. Del mismo modo, el elemento es importante para la transferencia de la información genética, además de ser un componente vital del cuerpo, al ser necesario para el mantenimiento de la estructura celular y para el correcto funcionamiento de los microorganismos del rumen, especialmente aquellos que utilizan celulosa como sustrato (Karn, 2001; McDowell, 1996).

La utilización y metabolismo de Ca y P, está influenciada por diversos factores en común, incluyendo niveles adecuados de cada uno de estos elementos. Un exceso o deficiencia de cualquiera interferirá con la adecuada utilización del otro, lo cual convierte la proporción entre los dos en un factor crítico de la nutrición animal, siendo adecuado un rango entre 1:1 y 2:1 de Ca y P, respectivamente (McDowell, 1985).

2.4.1.1 Requerimientos

Los requerimientos de Ca y P (Cuadro 1) están influenciados por diversos factores que incluyen el mejoramiento genético que desencadena un rápido crecimiento y altos niveles productivos; incrementos en el uso de dietas con contenidos energéticos elevados; rápida transición a dietas sólidas en las que la absorción de Ca es relativamente pobre; gestación de animales jóvenes que aún

están en crecimiento; el uso de antibióticos y hormonas y otros aditivos; raza, disponibilidad de cada elemento en el alimento y estrategia alimenticia; además de interacciones entre nutrientes además de efectos generados por enfermedad y parasitismo (McDowell, 1985; Suttle, 2010).

Cuadro 2. Requerimientos de Ca y P para vacas lactantes y toros de engorda.

Especie	Ca (%)	P (%)
Vacas lactantes (Holstein 680 kg) (NRC, 2001)	0.62 - 0.67	0.32 – 0.38
Vacas lactantes (Jersey 454 kg) (NRC, 2001)	0.54 - 0.66	0.33 – 0.44
Toros de engorda (NRC, 2000)	0.18 – 0.56	0.12 – 0.27
NMT para bovinos ¹ (NRC, 2005)	1.5	0.7

¹NMT=Nivel máximo tolerable.

2.4.1.2 Deficiencia

Los desórdenes generados por la deficiencia de Ca y P pueden darse como resultado de un incremento en la demanda o una falla en la formulación de los requerimientos (Suttle, 2010). El signo más conocido de la deficiencia es el metabolismo anormal de los huesos ya que un consumo inadecuado de Ca puede causar debilidad ósea, además de crecimiento lento, baja producción de leche y convulsiones; la deficiencia prolongada y aguda de Ca en vacas lecheras puede causar, fiebre de leche, la cual es una condición metabólica en la cual la demanda de este elemento supera el consumo del mismo al punto que el animal no puede alcanzar el requerimiento, generalmente al inicio de la lactancia (McDowell, 1985). La deficiencia de P en rumiantes puede generar un apetito depravado, caracterizado por el deseo de consumir madera, rocas, huesos y otros materiales, adicionalmente, los animales desarrollan rigidez en los cuartos anteriores, huesos frágiles y reducción del consumo y de la tasa de crecimiento (Karn, 2001).

2.4.1.3 Toxicidad

El exceso de Ca y P puede causar desordenes óseos y reducción en el consumo y ganancia de peso, adicionalmente altas cantidades de estos elementos pueden tener interacciones antagónicas con Mg, Fe, Zn y Mn.

■ Magnesio

La mayoría del Mg del cuerpo se encuentra en los huesos (60 – 70%) y es seguido solo por el K como componente de los tejidos suaves, especialmente

ligado a proteínas. El Mg es normalmente asociado a microsomas donde cumple la función de catalizador de un gran número de enzimas. También es requerido para la fosforilación oxidativa encabezando la formación de ATP, mecanismos de la bomba Na – K, oxidación del piruvato y conversión de α -oxoglutarato a succinil coenzima A, transferencia de fosfato, incluyendo aquellos efectuados por la fosfatasa alcalina, hexoquinasa y desoxiribonucleasa y oxidación de ácidos grasos. El Mg también desarrolla funciones no enzimáticas como la unión de Mg a fosfato, grupos en las cadenas ribonucleótidas, cambios con Ca en la contracción muscular e integridad de la membrana celular (Suttle, 2010).

2.4.2.1 Requerimientos

Los requerimientos de Mg (Cuadro 3) para rumiantes varían dependiendo de cada especie, raza, edad y tasa de crecimiento o producción, además de la disponibilidad biológica en la dieta. Altos niveles de proteínas, K, Ca y P incrementan el requerimiento de Mg debido a la disminución en la absorción por parte de los rumiantes.

Cuadro 3. Requerimientos de Mg para vacas lactantes y toros de engorda.

Especie	Mg (%)
Vacas lactantes (Holstein 680 kg) (NRC, 2001)	0.23 – 0.29
Vacas lactantes (Jersey 454 kg) (NRC, 2001)	0.22 – 0.29
Toros de engorda (NRC, 2000)	0.10 - 0.20
NMT para bovinos ¹ (NRC, 2005)	0.6

¹NMT=Nivel máximo tolerable.

2.4.2.2 Deficiencia

La tetania de los pastos o hipomagnesemia es un desorden metabólico que es afectado por las diferentes especies de forrajes y su composición mineral, además de las propiedades del suelo, fertilización, época del año, temperatura, especie, raza y edad del animal. Los signos clínicos incluyen reducción en el consumo, excitabilidad, salivación profusa y convulsiones (McDowell, 1985).

2.4.2.3 Toxicidad

Animales que consumen cantidades elevadas de Mg pueden presentar diarrea y reducción en el consumo de alimento (McDowell, 1985).

Potasio

El potasio es el ion más abundante al interior de las células de los diferentes tejidos, en los cuales genera potenciales eléctricos que son esenciales para el mantenimiento de la respuesta a los estímulos y el tono muscular. El K contribuye a la regulación del balance ácido – base (interactuando con Na y Cl) y participa en la respiración vía intercambio de cloruro. Todos los tejidos suaves son más ricos en K que en Na, haciendo del elemento el tercer mineral más abundante en el cuerpo, especialmente en el músculo. Diversas enzimas tienen requerimientos específicos de K y este a su vez influye en varias reacciones intracelulares que involucran al fosfato, con efectos en la actividad de las enzimas y contracción muscular (NRC, 2005; Suttle, 2010).

2.4.3.1 Requerimientos

El requerimiento de K (Cuadro 4) tiende a incrementar en animales lactantes, debido a las elevadas concentraciones del elemento en la leche, adicionalmente, la demanda de K se eleva bajo condiciones de estrés, dado que individuos estresados tienden a incrementar sus excreciones urinarias las cuales conllevan a una pérdida del elemento, que aumenta cuando existe diarrea y fiebre (McDowell, 1985; NRC, 2005; Suttle, 2010).

Cuadro 4. Requerimientos de K para vacas lactantes y toros de engorda.

Especie	K (%)
Vacas lactantes (Holstein 680 kg) (NRC, 2001)	1.11 – 1.24
Vacas lactantes (Jersey 454 kg) (NRC, 2001)	1.10 – 1.24
Toros de engorda (NRC, 2000)	0.60
NMT para bovinos ¹ (NRC, 2005)	2

¹NMT=Nivel máximo tolerable.

2.4.3.2 Deficiencia

La deficiencia de potasio en rumiantes genera disminución en el crecimiento y reducción del consumo de agua y alimento, baja eficiencia alimenticia, debilidad muscular, desordenes nerviosos, rigidez, emaciación, acidosis intracelular y degeneración de órganos vitales (McDowell, 1985).

2.4.3.3 Toxicidad

La intoxicación con potasio en animales sanos no es frecuente, debido a la capacidad del cuerpo de excretar el elemento. La hipercalemia puede presentarse por un consumo excesivo (la cual no suele ser la principal causa), disminución en las pérdidas renales y redistribución del potasio. Las pérdidas renales de K se pueden generar por una falla aguda de los riñones y/o deficiencia de mineralocorticoides; mientras que una redistribución del K puede ser generada por hemolisis, necrosis, daños en los músculos, deficiencia de insulina y desarrollo anormal de los canales musculoesqueléticos (NRC, 2005).

Sodio y cloro

El Na y el Cl, en conjunto con el K, cumplen la función de mantener la presión osmótica y regular el equilibrio ácido – base. Estos minerales funcionan como electrolitos en los fluidos corporales y están específicamente involucrados a nivel celular en el metabolismo del agua, consumo de nutrientes y transmisión de impulsos nerviosos, adicionalmente, el Cl es necesario para la activación de la amilasa y es esencial para la formación de ácido clorhídrico (McDowell, 1985).

2.4.4.1 Requerimientos

El requerimiento de Na y Cl (Cuadro 5) suele incrementarse durante la lactancia, debido a la secreción del elemento en la leche. La necesidad de Na también puede aumentar por el rápido crecimiento de los animales; por las condiciones ambientales que condicionan pérdidas de Na a través del sudor; cuando las pasturas tienen concentraciones bajas de este mineral; y en animales que permanecen en pasturas fertilizadas con altos niveles de K, el cual deprime los niveles de Na en las plantas (McDowell, 1985; NRC, 2005; Suttle, 2010).

Cuadro 5. Requerimientos de Na y Cl para vacas lactantes y toros de engorda.

Especie	Na (%)	Cl (%)
Vacas lactantes (Holstein 680 kg) (NRC, 2001)	0.28 – 0.34	0.30 - 0.40
Vacas lactantes (Jersey 454 kg) (NRC, 2001)	0.26 – 0.34	0.30 – 0.40
Toros de engorda (NRC, 2000)	0.06 – 0.08	-----
NMT ¹ para bovinos (NRC, 2005)	4.5 ²	

¹NMT=Nivel máximo tolerable.

²NMT expresado como NaCl

2.4.4.2 Deficiencia

El principal signo de deficiencia es la búsqueda de sal, evidenciada por conductas como lamer madera, suelo y sudor de otros animales, además del consumo de agua. Una deficiencia prolongada causa una disminución del apetito, reducción de crecimiento, reducción de la producción de leche y pérdida de peso; cuando estos signos se presentan en una vaca de alta producción después del parto, puede darse un colapso e inclusive la muerte. Sin embargo si la sal se otorga antes del colapso, la recuperación es inmediata (McDowell, 1985).

2.4.4.3 Toxicidad

La mayoría de los animales pueden tolerar grandes cantidades de sal en la dieta, cuando tienen disponibilidad de agua suficiente. Los signos clínicos se observan ante un consumo mayor a 7000 ppm de sal disuelta en el agua, estos incluyen reducción en el consumo de alimento, menor ganancia de peso y diarrea (McDowell, 1985).

■ Cobre

Con la excepción del P, la deficiencia de Cu es la limitante más severa en animales en pastoreo. El Cu es necesario para la producción de hemoglobina, absorción y movilización y oxidación de Fe, por medio de la ceruloplasmina que es sintetizada en el hígado permitiendo la unión del Fe con la transferrina. El Cu también es componente de varios pigmentos del cuerpo y está involucrado en el sistema nervioso central, metabolismo de los huesos y función cardiaca (McDowell, 1985). El Cu también puede proteger a los tejidos contra el estrés

oxidativo de los radicales libres, incluyendo aquellos generados durante la respiración e interactúa con otros nutrientes con similares propiedades antioxidantes (Suttle, 2010).

2.4.5.1 Requerimientos

El requerimiento de Cu (Cuadro 6) está influenciado por diversos factores que modifican su absorción y metabolismo (McDowell, 1985). La suplementación con Mo y S puede tener efectos inhibitorios en la absorción del Cu en bovinos, debido a la interacción presente entre estos elementos. Del mismo modo, alimentos con contenido elevado de Fe pueden afectar el metabolismo del Cu, incrementando su requerimiento. La raza del animal puede también influenciar la cantidad requerida de Cu, ya que pueden ser mayores para vacas Jersey que para vacas Holstein, al igual que es mayor para toros Simmental en comparación con toros Aberdeen Angus. Por último, la lactancia no incrementa los requerimientos de Cu en forma significativa debido a la baja concentración de este mineral en la leche (Suttle, 2010).

Cuadro 6. Requerimientos de Cu para vacas lactantes y toros de engorda.

Especie	Cu (mg kg⁻¹)
Vacas lactantes (Holstein 680 kg) (NRC, 2001)	11
Vacas lactantes (Jersey 454 kg) (NRC, 2001)	10 - 11
Toros de engorda (NRC, 2000)	10
NMT ¹ para bovinos (NRC, 2005)	40

¹NMT=Nivel máximo tolerable.

2.4.5.2 Interacción cobre – hierro

La suplementación con óxido o sulfato de hierro puede reducir la absorción de Cu; estos compuestos ferrosos aceleran la liberación de Cu y disminuyen la acumulación de este elemento en el hígado. Estas interacciones están en parte influenciadas por los niveles de S.

La concentración de Fe en el suelo también puede generar la adsorción de Cu por compuestos insolubles de Fe y la reducción en la regulación de transportador DMT1 (proteína transportadora de metales divalentes) por excesos de Fe soluble (Suttle, 2010).

2.4.5.3 Interacción cobre - manganeso

Excesos de Mn en la dieta pueden generar excesos de Fe en la mucosa intestinal mediante supresión de DMT, uno de los transportadores que llevan el Cu a través de la mucosa del intestino, por lo que se reduce su absorción en lugares distales (Suttle, 2010).

2.4.5.4 Deficiencia

Diversos desórdenes se asocian a la deficiencia de Cu, los cuales incluyen anemia, diarrea severa, reducción en el crecimiento, cambios en el color del pelo, ataxia neonatal, infertilidad, falla cardiaca, debilidad y fragilidad de los huesos largos. Un indicador importante de la deficiencia de Cu, además de la anemia, es la pérdida de la pigmentación del pelo y caída del mismo; además de la fragilidad de los huesos, en especial los huesos largos, los cuales se rompen sin una causa aparente y generan anomalías en la forma de caminar. Evaluaciones post mortem evidencian lesiones en el corazón (McDowell, 1985).

2.4.5.5 Toxicidad

La intoxicación puede resultar de un consumo elevado de Cu o de una exposición constante a concentraciones que exceden los requerimientos. Las especies animales difieren en su tolerancia ante excesos de Cu, los ovinos son altamente sensibles, en especial cuando la concentración de Mo y S es baja, esta susceptibilidad está influenciada por su inhabilidad de incrementar la excreción biliar de Cu en respuesta ante un consumo elevado. Los signos de intoxicación aguda incluyen náuseas, vómito, diarrea, salivación excesiva, dolor abdominal, convulsiones, parálisis y en ocasiones la muerte (Suttle, 2010).

█ Zinc

El Zn es esencial en todos los animales, vinculado a sistemas enzimáticos y el metabolismo de ácidos nucleicos, carbohidratos y síntesis de proteína. El elemento también es necesario para la movilización de la vitamina A desde el hígado y para el mantenimiento de niveles normales de esta vitamina en el plasma mediante su influencia en la síntesis de proteína de unión del retinol (McDowell, 1996). El Zn es requerido para la integridad estructural y funcional de más de 2000 factores de transcripción y casi todas las vías metabólicas son dependientes en una u otra forma de proteínas que requieren Zn. Los residuos

de la coordinación tetraédrica de zinc a cisteína e histidina crean “dedos de zinc” que desempeñan un rol importante en la unión de las proteínas del ADN (Suttle, 2010).

2.4.6.1 Requerimientos

El requerimiento de Zn (Cuadro7) varía con la forma química, la combinación con otros componentes de la dieta y el criterio de adecuación empleado. Por ejemplo, el requerimiento mínimo de Zn para espermatogénesis y desarrollo testicular en ovinos jóvenes es significativamente mayor que el requerido para crecimiento corporal (McDowell, 1985).

Cuadro 7. Requerimientos de Zn para vacas lactantes y toros de engorda.

Especie	Cu (mg kg⁻¹)
Vacas lactantes (Holstein 680 kg) (NRC, 2001)	43 – 55
Vacas lactantes (Jersey 454 kg) (NRC, 2001)	47 - 51
Toros de engorda (NRC, 2000)	30
NMT ¹ para bovinos (NRC, 2005)	500

¹NMT=Nivel máximo tolerable.

2.4.6.2 Deficiencia

La deficiencia de Zn se caracteriza por inflamación de la nariz y boca con hemorragias submucosas, decaimiento, piel áspera, rigidez de las articulaciones con hinchazón edematosa en la parte delantera de las pezuñas, grietas en la piel de las bandas coronarias alrededor de las pezuñas que se convierten en fisuras profundas, piel seca en las orejas, engrosamiento y agrietamiento de la piel, y en torno a las fosas nasales, crecimiento excesivo de la mucosa en los labios y almohadillas dentales, bruxismo, alopecia, piel enrojecida, escarpada y arrugada en el escroto y reverencia de las patas traseras (McDowell, 1985).

2.4.6.3 Toxicidad

La toxicidad del zinc es difícilmente relacionada a sus propiedades físicas y químicas, debido a que no se considera, carcinogénico, mutagénico o teratogénico. El Zinc es el único elemento pre y post- transicional que es esencialmente no tóxico. El mayor efecto relacionado con el consumo elevado de Zn está en el detrimento de la absorción de Cu por efectos de la unión a la metalotionina en las células intestinales, lo que puede causar anemia (NRC, 2005).

Hierro

El Fe cumple un papel importante en el metabolismo animal, principalmente relacionado con la respiración celular, como componente de la hemoglobina, mioglobina, citocromo y algunas enzimas. La absorción de Fe es más eficiente cuando las reservas corporales son bajas, adicionalmente, la absorción se da directamente en la sangre con pequeñas proporciones en el sistema linfático. Altas concentraciones de P reducen la absorción de Fe, probablemente por la formación de fosfatos y fitatos férricos insolubles; además, elevados niveles de otros minerales como Cu, Mn, Pb, Cd, incrementan los requerimientos de Fe por la competencia existente por los sitios de absorción en la mucosa intestinal (McDowell, 1985).

2.4.7.1 Requerimientos

Los requerimientos de Fe (Cuadro 8) varían de acuerdo con el peso vivo y la composición de la dieta con el fin de incrementar y mantener niveles adecuados de hemoglobina (Suttle, 2010).

Cuadro 8. Requerimientos de Fe para vacas lactantes y toros de engorda.

Especie	Fe (mg kg⁻¹)
Vacas lactantes (Holstein 680 kg) (NRC, 2001)	12.3 - 18
Vacas lactantes (Jersey 454 kg) (NRC, 2001)	15 - 18
Toros de engorda (NRC, 2000)	50
NMT ¹ para bovinos (NRC, 2005)	500

¹NMT=Nivel máximo tolerable.

2.4.7.2 Deficiencia

La deficiencia de hierro raramente se da en adultos, sin embargo, se pueden presentar pérdidas de sangre por acción de parásitos o enfermedad. Los signos de la falta de Fe, además de la anemia, están relacionados con cambios en la sangre, menores ganancias de peso, apatía, dificultad para respirar, reducción del apetito y disminución de la resistencia a la infección (McDowell, 1985).

2.4.7.3 Toxicidad

Altos niveles de Fe pueden generar menores rendimientos productivos, cambios en la composición de los tejidos y órganos como hígado, corazón y páncreas.

También se puede presentar diarrea, hipotermia y acidosis metabólica (McDowell, 1985; NRC, 2005)

2.5 FORRAJES COMO FUENTE DE MINERALES

Los forrajes raramente pueden satisfacer completamente los requerimientos minerales de los rumiantes en pastoreo, en especial Cu, Mg, P, Na y Zn, adicionalmente, las conductas de pastoreo de cada individuo así como la selectividad por el consumo de diferentes partes de las plantas (cada una con diferentes concentraciones minerales) puede agravar el acceso a una cantidad suficiente de minerales, en especial en sistemas productivos con pobre suplementación mineral (McDowell, 1985; Suttle, 2010). Existen diferentes factores involucrados en la concentración mineral presente en las pasturas (Figura 3).

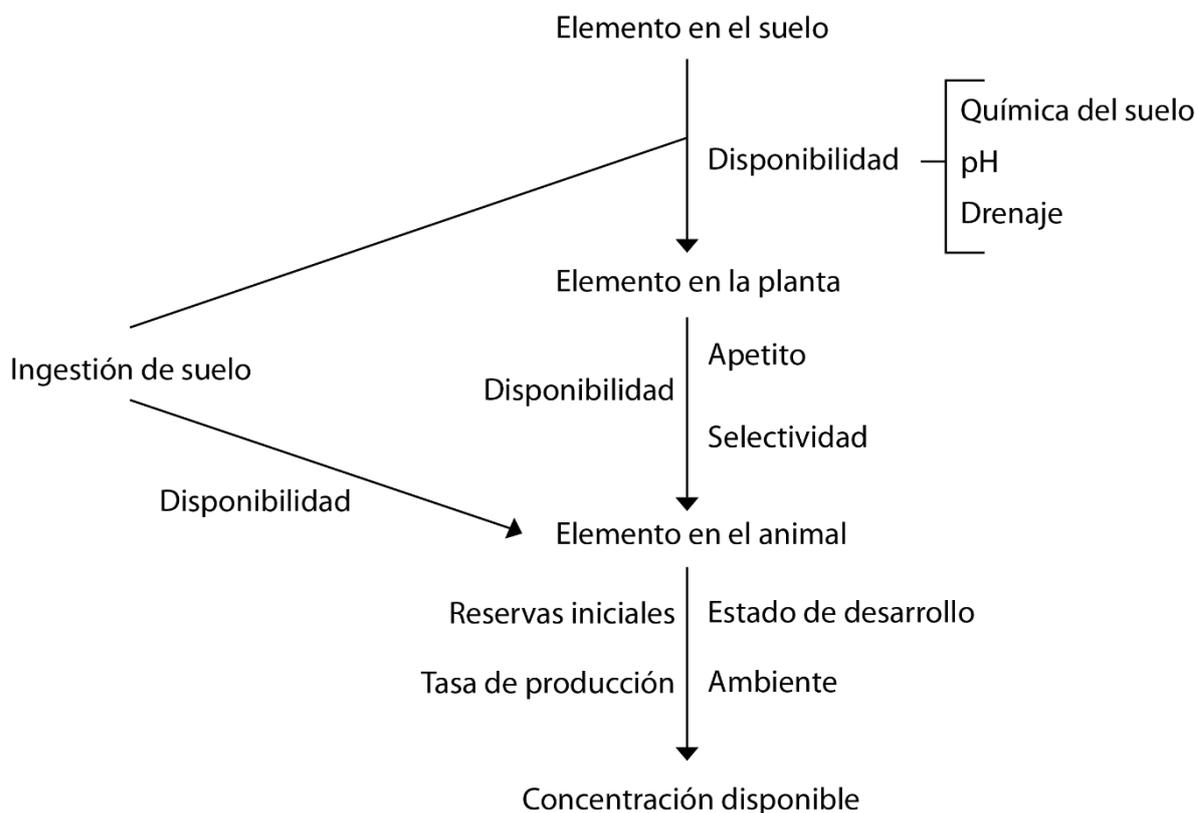


Figura 3. Factores que pueden afectar la disponibilidad de minerales en las plantas (Suttle, 2010).

El suelo es la fuente de la mayoría de elementos minerales encontrados en las plantas, por lo cual, las deficiencias minerales en las pasturas pueden estar asociadas a regiones específicas con propiedades edáficas particulares. Del mismo modo una fracción de la concentración de minerales en suelo es utilizada

por las plantas, por lo tanto, la fertilización de pasturas y leguminosas es una práctica capaz de incrementar el nivel de estos elementos en el forraje y su posterior disponibilidad para los animales. No obstante, la respuesta a la fertilización es variable y dependiente de varios factores, como el pH y el drenaje. La concentración mineral depende también de la variedad y especie del forraje; normalmente las leguminosas son más ricas en elementos minerales que las gramíneas, las cuales tienden a reducir el contenido mineral con la madurez, debido a procesos naturales de dilución y translocación de nutrientes hacia las raíces (McDowell, 1985).

2.6 LITERATURA CITADA

- Ammerman, C. B., Baker, D. H., & Lewis, A. J. (1995). *Bioavailability of Nutrients for Animals, Amino acids, Minerals and Vitamins*. San Diego: Elsevier Inc.
- Ashmead, H. de W. (1993). *The roles of amino acid chelates in animal nutrition*. New Jersey: Noyes Publications.
- Enry, P. R. H., & Iles, R. D. M. (2000). Interactions among trace minerals. *Ciência Animal Brasileira* 1(2), 95–106.
- Forbes, R. M., & Erdman, J. W. (1983). Bioavailability of trace mineral elements. *Ann. Rev. Nutr.*, 3, 213–231.
- Gaviria X., Sossa, C., Montoya C., Chará J., Lopera J., Cordoba C., & Barahonna R., (2012). Producción de carne bovina en sistemas silvopastoriles intensivos en el trópico bajo colombiano. VII Congreso Latinoamericano de sistemas agroforestales para la producción animal sostenible. Belém do Pará, Brasil. p. 661-665
- Georgievskii, V. I., Annenkov, B. N., & Samokhin, V. T. (1982). *Mineral Nutrition of Animals*. Moscow: Kolos Publishing House.
- Karn, J. F. (2001). Phosphorus nutrition of grazing cattle : a review. *Animal Feed Science and Technology*, 89, 133–153.
- McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., & Wilkinson, R. G. (2011). *Animal Nutrition* (7th ed.):Harlow: Pearson.
- McDowell, L. R. (1985). *Nutrition of grazing ruminants in warm climates*. Orlando: Academic press, INC.
- McDowell, L. R. (1996). Feeding minerals to cattle on pasture. *Animal Feed Science and Technology*, 60(3–4), 247–271. doi:10.1016/0377-8401(96)00983-2.
- McDowell, L. R. (2003). *Minerals in animal and human nutrition* (2nd ed.). Amsterdam: Elsevier.
- NRC. (2000). *Nutrient Requirements of Beef Cattle* (7th ed.). Washington, D.C.: National Academic Press.

- NRC. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* (7th ed.). Washington, D.C.: National Academic Press. doi:10.17226/9825
- NRC. (2005). *Mineral tolerance of animals* (2nd ed.). Washington, D.C.: National Academic Press.
- O'Dell, B. L., & Sunde, R. A. (1997). *Handbook of nutritionally essential mineral elements* (1st ed.). New York: Marcel Dekker.
- Suttle, N. (2010). *Mineral nutrition of livestock. Mineral nutrition of livestock* (4th ed.). Wallingford: CABI Publishing. doi: 10.1079/9781845934729.0000

3. *Leucaena leucocephala* FOR ANIMAL NUTRITION AND ITS EFFECTS ON PRODUCTIVE PERFORMANCE: A REVIEW

***Leucaena leucocephala* PARA LA NUTRICIÓN ANIMAL Y SUS EFECTOS EN EL RENDIMIENTO PRODUCTIVO: UNA REVISIÓN**

Andrés Camilo Rodríguez Serrano – Alejandro Lara Bueno*

Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Zootecnia. Posgrado en Producción Animal. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. CP 56230, México

3.1 RESUMEN

El objetivo de este estudio fue revisar información científica acerca del uso de *Leucaena leucocephala* como alimento para la nutrición animal, para analizar sus efectos en el rendimiento productivo de diferentes especies animales e identificar oportunidades de investigación. Se revisaron 115 artículos científicos provenientes de diferentes bases de datos, y se organizaron por: 1) Valor nutricional, 2) Producción animal, 3) Contenido de mimosina y, 4) Actividad contra parásitos. Se observó que la información nutricional está concentrada en el análisis proximal, especialmente proteína cruda, mientras que minerales importantes para la nutrición como cobre, manganeso, hierro, yodo, zinc, selenio y cobalto fueron menos estudiados. Los caprinos son la especie más estudiada en las investigaciones, seguidos por ovinos y bovinos, mientras cerdos, aves, conejos, camarones y ciervos, apenas fueron reportados. Los niveles de inclusión de *Leucaena leucocephala* fueron de 10 a 80% de la dieta. Se documentaron efectos adversos cuando en dietas con más de 50% de *Leucaena leucocephala*. Las ganancias diarias de peso para caprinos variaron de 20.0 a 94.6 g d⁻¹; ovinos de 35.0 a 106.4 g d⁻¹; bovinos de 20.0 a 1500.0 g d⁻¹. Los mejores resultados fueron reportados en sistemas de pastoreo. La producción de leche fue de -0.9 a 8.4 kg vaca⁻¹ d⁻¹. En cerdos, conejos, aves y peces se observaron resultados negativos a elevados niveles de inclusión de *Leucaena leucocephala* en la dieta. *Synergistes jonesi*, es probablemente la mejor alternativa para evitar los efectos tóxicos de la mimosina; adicionalmente *Leucaena leucocephala* tiene potencial para el control de *Haemonchus sp.*, así como para el control de otros parásitos.

Palabras clave: Mimosina, Sistemas agroforestales, Sistemas silvopastoriles, bovinos, caprinos, ovinos

3.2 INTRODUCCIÓN

Leucaena leucocephala (Lam.) (LL) es una especie nativa de Centro América, naturalizada e investigada en la mayoría de los países tropicales y subtropicales de América, sur y sureste de Asia y las islas del pacífico, (García et al. 1996; Hiwale 2015). Esta leguminosa ha sido ampliamente distribuida por el mundo dado su impacto en la producción animal, especialmente aprovechada en sistemas silvopastoriles (Murgueitio et al. 2011), que han sido implementados y evaluados en diferentes condiciones ambientales. La composición nutrimental de la leucaena se caracteriza por porcentajes altos de proteína y minerales como Ca, P, Mg y K, además de elevado contenido de mimosina (González-García et al. 2009; Barros-Rodríguez et al. 2012), por lo que se han realizado diversas investigaciones en torno a los efectos del consumo de la planta, sobre la salud y producción animal (ganancia diaria de peso, conversión alimenticia, consumo de alimento y producción de leche). Adicionalmente, se han evaluado efectos sobre la actividad antiparasitaria, emisiones de gases de efecto invernadero y rendimiento reproductivo (Botero et al., 2013; Molina et al., 2016). Estos trabajos se han desarrollado en diferentes especies de animales domésticos, como bovinos, ovinos, caprinos, bufalinos, venados, porcinos, conejos, aves y peces.

Los resultados de investigación están dispersos en un amplio rango de revistas científicas de diferentes áreas de investigación y diversos países, que dificultan el acceso a la información existente acerca del uso de LL en la nutrición animal. Además, los resultados se han generado en diferentes condiciones ambientales, por lo que se dificulta la aplicación del conocimiento generado en varias partes del mundo. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo es revisar la información científica acerca del uso de LL en la nutrición animal para analizar sus efectos en el rendimiento productivo e identificar oportunidades de investigación.

3.3 ORIGEN DE LA INFORMACIÓN

La información fue obtenida de 115 artículos científicos de diferentes revistas presentes en las bases de datos (ScienceDirect, Springer Link y Redalyc) provenientes de diferentes países. La LL fue utilizada como objeto de estudio, seleccionando aquellos artículos enfocados a la nutrición animal. Los datos fueron clasificados en cinco grupos de acuerdo con el área de investigación y los

objetivos del artículo: 1) valor nutritivo y producción de biomasa; 2) características nutricionales y producción animal; 3) contenido de mimosina y; 4) actividad antiparasitaria.

■ **Aspectos generales de la revisión**

Los artículos fueron publicados desde 1978 a 2015, de los cuales 44.3% estudiaron aspectos relacionados con nutrición animal, 37.8% refieren el valor nutricional y producción de biomasa, indicando que estas áreas son las más investigadas, especialmente en caprinos, ovinos y bovinos (Cuadro 9).

Cuadro 9. Artículos por área y especie

Área	Artículos
Nutrición y producción animal	66
Valor nutritivo y producción de biomasa	25
Contenido de mimosina	16
Actividad antiparasitaria	4
Producción de gases efecto invernadero	4

3.4 PRODUCCIÓN DE BIOMASA Y VALOR NUTRITIVO

La amplia distribución geográfica de LL ha generado diferentes variedades en diferentes países como: India, K-360, Rahuri, K-8; Perú, Cunningham, IGFRI-Jhansi, Dehradun y Hawai (Akora et al. 1986; Díaz et al. 2007), que han sido ampliamente investigadas en países de Asia y África, mientras que los cultivares de Venezuela, Perú, Cunningham, Ipil-Ipil, CNIA-250, y otra gran variedad de LL generadas por el Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT) son frecuentemente trabajadas en países de América (Fortes et al. 2003; La et al. 2003; García et al. 2008).

La producción de biomasa de y el valor nutritivo de LL se reportan en el Cuadro 10. La literatura reporta que LL puede crecer en suelos que van de ácidos a alcalinos (García et al. 1996) en un rango de 4.9 – 9.1 (Karachi 1998; Tewari et al. 2004b) la densidad de plantación del cultivo varía de 55 a 55,000 arbustos ha⁻¹ (García et al. 2008; Barros-Rodríguez et al. 2012). La producción mínima de biomasa fue de 1.19 t ha⁻¹ cosecha⁻¹ en la temporada seca en Michoacán,

México, sin riego y cosechada en intervalos de 40 días a 40 cm del suelo (Bacab-Perez y Sánchez-Solorio 2011). La mayor producción de biomasa fue para el cultivar Perú (11.3 t ha⁻¹ cosecha⁻¹) en la región semi-árida de Hisar (India) bajo condiciones de riego y cosechada en intervalos de 75 días a 75 cm de altura (Akora et al. 1986).

Cuadro 10. Producción de biomasa y valor nutritivo de *Leucaena leucocephala*

Parámetro	Rango	Promedio	Ob.*	Fuente**
Densidad (arbustos ha ⁻¹)	555 – 55,000	7092	6	(García et al. 2008; Barros-rodríguez et al. 2012)
pH	4.9 - 9.1	6.7	7	(Karachi 1998; Tewari et al. 2004a)
FP (t DM ha ⁻¹)	1.98 - 11.3	5.21	20	(Akora et al. 1986; Bacab-Perez y Sánchez-Solorio 2011)
DM (%)	19.2 - 45.3	25.74	55	(Adeneye 1979; Aregheore y Perera, 2004)
DM semillas (%)	81.7 - 86.4	84.65	4	(Adeneye 1979; Karachi 1998)
ME (Mcal kg ⁻¹ DM)	1.5 - 2.6	1.91	8	(Ndemanisho et al. 1998; Rodríguez et al. 2014)
CP (%)	14.1 – 38.4	25.7	86	(Herrera et al. 2012; Maasdorp et al. 1999)
EE (%)	0.9 - 7.24	3.5	16	(Adeneye 1979; Bugarin et al. 2009)
CF (%)	10.8 - 35.8	17.8	33	(Adeneye 1979; Wencomo y Ortiz 2012)
NDF (%)	21.1 - 61.6	40.05	60	(Bosma y Bicaba 1997; Herrera et al. 2012)
ADF (%)	11.6 - 39.3	23.55	57	(Dana et al. 2000; Karachi 1998)
Ash (%)	6.2 - 16.9	7.9	54	(Bosman et al. 1995; Oduguwa et al. 2013)
NFE (%)	20.9 - 66.8	44.6	11	(Adeneye 1979)
Celulosa (%)	7.45 - 26.6	14.30	32	(Ndemanisho et al. 1998; Oduguwa et al. 2013)
Lignina (%)	3.3 - 20.73	10.5	39	(Bosma y Bicaba 1997; Herrera et al. 2012)
DMD (%)	49.63 - 78.6	66.12	7	(García et al. 2008)
IVDMD (%)	39 - 71.6	53.91	13	(Akora et al. 1986; Karachi 1998)

FP= producción de biomasa; DM=Materia seca; ME= Energía metabolizable; CP=Proteína Cruda; EE=Extracto etéreo; CF=Fibra cruda; NDF= Fibra detergente neutro; ADF= Fibra detergente ácido, NFE= Extracto libre de nitrógeno; DMD= Degradabilidad de la materia seca; IVDMD= Degradabilidad *In vitro* de la materia seca

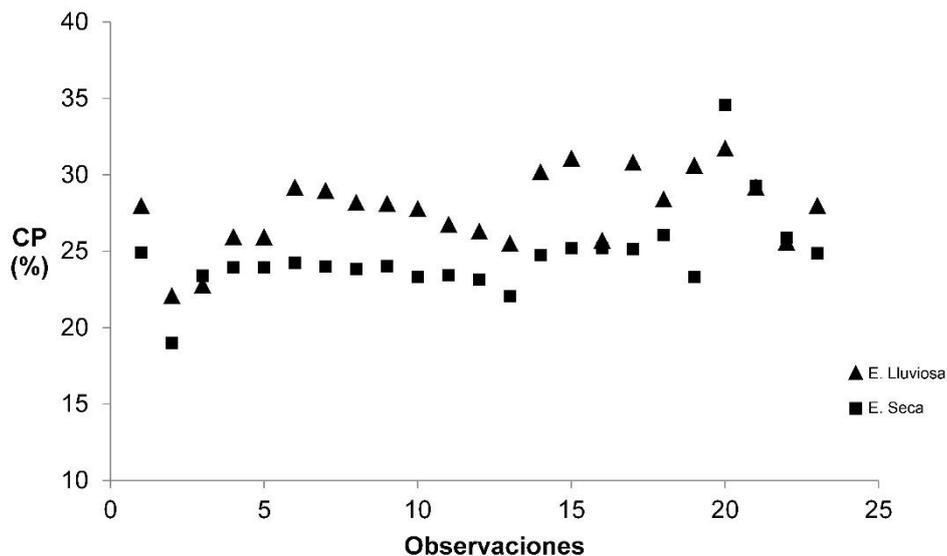
*Número de observaciones

**la fuente pertenece a los valores mínimos y máximos observados.

La información nutricional se concentra en los contenidos de DM, CP, NDF, ADF y cenizas. La materia seca de las hojas y semillas fue de 26 y 85%, respectivamente. La concentración más alta de proteína se presentó en los rebrotes de la planta (47.4%) mientras que la menor (8.2%) se observó en las vainas vacías (Adeneye, 1979). Cuando se evaluó el follaje el contenido de proteína cruda varió en un rango entre 14.1 y 38.4% (Maasdorp et al. 1999; Herrera et al. 2012). Los estudios de Fortes La y Chongo (2003), La et al. (2003),

Pamo et al. (2007), González-García et al. (2009), Herrera et al. (2012), y Wencomo y Ortiz 2012, determinaron la variación nutricional de LL en épocas de secas y lluvias, donde los niveles de proteína cruda fueron menores en la época seca en el 87.5% de las observaciones (Figura 1), esta variación se dio entre 0.5 y 7.33%.

Figura 4. Concentración de proteína cruda (CP) de *Leucaena leucocephala* en época seca y de lluvias.



En contraste, la composición mineral de LL fue considerablemente menor para la mayoría de los elementos, excepto para Ca, P, K y Mg (Cuadro 11). Estos datos son similares a lo reportados por Garcia et al. (1996) tomados de 65 publicaciones entre 1946 y 1992. Sin embargo, los rangos de contenidos de Cu (2-32 ppm), Mn (55.16–875 ppm) y Zn (30–308.95 ppm) son mayores a los reportados en la presente revisión. Esto muestra la capacidad de la LL de acumular minerales, dependiendo del ambiente en el que se desarrolla.

Cuadro 11. Composición mineral del forraje de *Leucaena leucocephala*.

Mineral	Rango	Media	Ob.*	Fuente**
Calcio (%)	0.41- 3.09	1.76	24	(García <i>et al.</i> 2008; Aye y Adegun 2013)
Fósforo (%)	0.10-0.57	0.24	20	(Lopez-Valoy <i>et al.</i> 2012; Kambashi <i>et al.</i> 2014)
Potasio (%)	0.34-2.36	1.79	12	(Aye y Adegun 2013; García <i>et al.</i> 2008)
Magnesio (%)	0.22-1.11	0.49	6	(Ekpenyong 1986; Kambashi <i>et al.</i> 2014)
Sodio (%)	0.02-0.27	0.15	2	(Aye y Adegun 2013; Kambashi <i>et al.</i> 2014)
Azufre (%)	0.51	0.15	1	(Kambashi <i>et al.</i> 2014)
Cloro (%)	0.59	0.59	1	(Kambashi <i>et al.</i> 2014)
Manganeso (ppm)	40-80	57	3	(Aye y Adegun 2013; Kambashi <i>et al.</i> 2014)
Zinc (ppm)	14-23	18.50	2	(Mtenga y Laswai 1994; Kambashi <i>et al.</i> 2014)
Hierro (ppm)	294-920	508	3	(Aye y Adegun 2013; Kambashi <i>et al.</i> 2014)
Cobre (ppm)	6-6.2	6.07	3	(Mtenga y Laswai 1994; Kambashi <i>et al.</i> 2014)
Selenio (ppm)	0.87	0.87	1	(Kambashi <i>et al.</i> 2014)
Cobalto (ppm)	0.7	0.70	1	(Kambashi <i>et al.</i> 2014)

*Número de observaciones

** La columna fuente muestra los registros mínimos y máximos revisados.

Los sistemas silvopastoriles con LL son promovidos como una herramienta para complementar la nutrición animal en sistemas de pastoreo, especialmente los requerimientos de proteína cruda, sin embargo, la contribución animal a la dieta, han sido menos evaluados. La comparación entre la contribución mineral de LL presentada anteriormente y los requerimientos de ovejas, cabras, vacas lecheras, toros de engorde y porcinos, son presentados en el Cuadro 12, con el objetivo de especificar los minerales que están en alta o baja concentración mineral y su potencial para cumplir las necesidades de estas especies. Normalmente, la LL no se incluye al 100% de la dieta, sin embargo, los niveles de inclusión de LL en la dieta de los animales varían considerablemente.

Cuadro 12. Comparación entre el contenido mineral de *Leucaena leucocephala* y los requerimientos de diferentes especies

Mineral	Leucaena	Ovinos	Caprinos	Vacas lecheras	Toros de engorde	Porcinos (20-50) kg
		(NRC 2007)	(NRC 2007)	(NRC 2001)	(NRC 2000)	(NRC 2012)
Ca (%)	0.41- 3.09	0.35-0.50	0.18-0.63	0.4-1	0.13-0.7	0.6
P (%)	0.10-0.57	0.25-0.37	0.14-0.40	0.40-0.76	0.12-0.27	0.5
K (%)	0.34-2.36	0.40-0.50	0.42-0.60	0.65-1.12	0.60-0.70	0.23
Mg (%)	0.22-1.11	0.07-0.15	0.04-0.15	0.07-0.10	0.10-0.20	0.04
Na (%)	0.02-0.27	0.03-1.2	0.03-0.12	0.14-0.4	0.06-0.10	0.1
S (%)	0.51	0.14-0.18	0.19-0.26	0.20-0.32	0.15-0.15	-----
Cl (%)	0.59	0.04-0.06	0.05-0.28	0.20-0.92	-----	0.08
Mn (ppm)	40-80	17-25	9-16	40	20-40	2
Zn (ppm)	14-23	24-37	6-70	40	30	60
Fe (ppm)	294-920	10-70	3-20	50	50	60
Cu (ppm)	6-6.2	3-8	14-24	10	10	4
Se (ppm)	0.87	0.14-0.20	0.2-0.35	0.3	0.1	0.15
Co (ppm)	0.7	0.11-0.20	0.10-0.13	0.10-0.11	0.1	-----

La información presentada en la Cuadro 12, evidencia que LL presenta un alto potencial para complementar la dieta de ovinos, caprinos, bovinos y cerdos; sin embargo, el número de estudios aún es limitado; como consecuencia, más investigación es necesaria, para definir niveles apropiados de inclusión de LL en la dieta de los animales.

Características nutricionales y producción animal

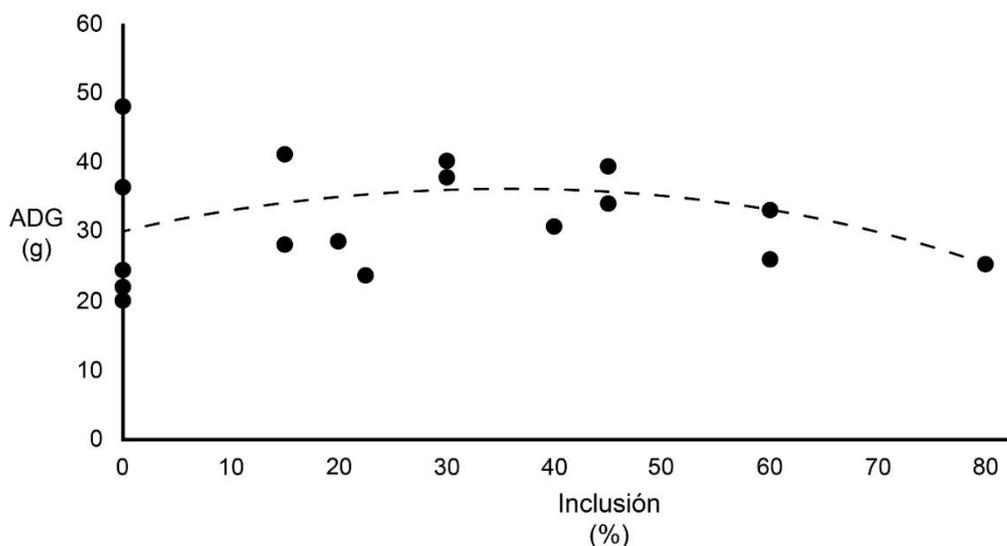
Los caprinos son la especie más investigada, principalmente, en países de Asia y África, seguidos por los ovinos, especies que son conocidas por su capacidad o preferencia por el consumo de arbustos como la LL. Los estudios realizados en bovinos, complementan las investigaciones realizadas en rumiantes, mientras que otras especies como porcinos, aves y conejos se presentan en menor cantidad.

Caprinos

Los niveles de inclusión de LL en dietas para caprinos fueron de 10 a 80%. Según los datos revisados, se tienen algunos efectos adversos en el consumo de materia seca cuando LL fue incluida por arriba del 50% de la dieta (Yami et al.

2000; Hove et al. 2001). Sin embargo, Srivastava y Sharma (1998) reportan que, en animales tolerantes a la mimosina, LL puede ser proporcionada como alimento exclusivo. Las ganancias diarias de peso (GDP) estuvieron entre 20 y 48 g día⁻¹ (Mtenga y Shoo 1990; Yami et al. 2000; Anbarasu et al. 2004), no obstante, con los datos observados, no se evidencia una relación entre el nivel de inclusión de LL y la GDP, contrario a lo esperado para un alimento de alta calidad (Figura 5), no obstante, los datos son escasos y, posiblemente, no concluyentes, por lo que más investigación deben realizarse con el objetivo de incrementar los rendimientos productivos a través de la adición de LL dentro de las dietas. Un ejemplo de esto, lo otorga Gusha et al. (2015) quienes alimentaron cabras con un ensilado compuesto por 37% de LL y 63% de *Opuntia indica*, como suplemento de una dieta basal de *Pennisetum purpureum* y obtuvieron una ganancia diaria de 94.6 g día⁻¹.

Figura 5. Ganancias diarias de peso para caprinos a diferentes niveles de inclusión de *Leucaena leucocephala*.



Tomando en cuenta las características de cada raza, las ganancias diarias de peso reportadas en la presente revisión estuvieron entre 20 y 41.14 g día⁻¹, las cuales son menores a lo reportado en NRC (2007) para cabras (25 – 300 g día⁻¹). Esto probablemente se deba a que, normalmente, LL no es usada en sistemas de producción intensivos, que permitan expresar el potencial genético de los animales.

Ovinos

En los datos revisados en experimentos con ovinos, la ganancia diaria de peso estuvo entre 35 y 70 g día⁻¹, con niveles de inclusión de 10 a 60% (Adejumo y Ademosun, 1991a; Bosma y Bicaba, 1997; Tesfay y Tesfay, 2013). Adicionalmente, Barros-Rodríguez et al. (2012) registraron GDP de 81.33 y 106.41 g día⁻¹, para ovejas pelibuey en un sistema silvopastoril con 35,000 y 55,000 arbustos de LL ha⁻¹, respectivamente. Adejumo y Ademosun (1991b) reportan efectos adversos cuando la LL es incluida por encima de 80% de la dieta sugiriendo una inclusión alrededor de 60%. En contraste, Tomkins et al. (1991) reportan que es posible inocular ovejas con líquido ruminal de animales tolerantes a la mimosina, lo cual podría incrementar la posibilidad de usar niveles altos de LL en dietas para rumiantes.

Bovinos

Las investigaciones respecto al uso de LL en la nutrición de bovinos, y su relación con el rendimiento productivo, muestran cambios en la producción de leche mediante la adición de LL que van de -0.17 y -0.9 kg por vaca⁻¹ día⁻¹, con consumos de alimento de 1.7 a 1.8 kg LL día⁻¹ (Maasdorp et al. 1999; Aguilar-Pérez et al. 2001) y de 1.8 a 8.4 kg vaca⁻¹ con un consumo de 1.5 a 2.68 kg LL día⁻¹ (Maasdorp et al. 1999; García et al. 1994; Kakengi et al. 2001). En bancos de proteína, Faría-Mármol et al. (2007) observaron una reducción en la producción de leche de 11.13 a 9.68 kg vaca⁻¹ mediante la sustitución de concentrado por forraje de leucaena.

Las ganancias diarias de peso fueron de 20 a 1,500 g día⁻¹ (Cuadro 13), donde un número mayor de investigaciones registran GDP por abajo de 500 g día⁻¹, inclusive en dietas control. Esto probablemente se debe a que LL es usada en sistemas de producción con parámetros productivos medios o bajos (la mayoría en condiciones de pastoreo), que son drásticamente afectados por las épocas de escasez de alimentos que impiden tener los rendimientos obtenidos en sistemas de producción más tecnificados.

Cuadro 13. Ganancia diaria de peso a diferentes niveles de inclusión de *Leucaena leucocephala*.

No. de animales	Raza	Edad o etapa fisiológica	Consumo de leucaena (kg DM day ⁻¹)	Dieta complementaria o de control	ADG g día ⁻¹	Fuente
4	Ayrshire/Brown Swiss x Sahiwal		0		81	
4	Ayrshire/Brown Swiss x Sahiwal	Novillos	0.7	Rastrojo de maíz, 1 kg salvado de maíz y mezcla mineral	396	Abdulrazak <i>et al.</i> (1997)
4	Ayrshire/Brown Swiss x Sahiwal		1.5		753	
6	Holstein x Gyr	Becerras de 11 a 12 meses	<i>ad libitum</i>	Rastrojo de sorgo y melazas 1 g mezcla de vitaminas y 30 g de mezcla por día	570	(Sobale <i>et al.</i> 1978)
60	Cruza de <i>Bos indicus</i>	Novillos	<i>ad libitum</i>	Pastura de <i>Clhoris gayana</i>	1500	(Harrison <i>et al.</i> 2015)
4			0		-300	
4	Tanzania	Novillos de 1.5 a 2 años	0.40	Pastura nativa	20	(Rubanza <i>et al.</i> 2005)
4	Shorthorn zebu		0.60		140	
4			0.80		260	
3	White Fulani x N'dama	Becerras de 9 a 12 meses	0	Pastura natural	26.2	(Ojo <i>et al.</i> 2014)
3			0.5		113	

Porcinos

Algunos estudios han evaluado los efectos del nivel de inclusión en dietas de cerdos con estrategias que permiten minimizar los efectos tóxicos derivados del contenido de mimosina. Mtenga y Laswai (1994) reportan que la inclusión de 0, 10 y 20% de harina del forraje de LL en dietas de cerdos castrados Large White x Landrace, puede afectar la ganancia de peso, a razón de 401, 512 y 654 g día⁻¹. Estos mismos niveles de inclusión fueron evaluados por Ly *et al.* (1998) en un estudio de digestibilidad donde los cerdos fueron suplementados con FeSO₄ · 7H₂O para evitar la toxicidad por mimosina; sin embargo, la digestibilidad de la proteína cruda fue menor con niveles mayores de inclusión de LL.

La digestibilidad de la fibra cruda mejoró 15% cuando el sulfato ferroso fue suplementado a razón de 4 g kg⁻¹ de alimento, en dietas que incluían 20% de LL, comparada con una dieta similar sin la inclusión del sulfato ferroso, a pesar de lo anterior, este nivel de inclusión de 20% de LL generó pérdida de cabello y riñones más pesados en los animales evaluados; la ganancia diaria de peso fue mejor en animales tratados con sulfato ferroso (394 g día⁻¹), comparado con 0 y 20% de leucaena sin sulfato ferroso (387 y 331 g día⁻¹, respectivamente) (Laswai et al. 1997).

Conejos

Onwudike (1995) evaluó el consumo de LL como alimento para conejos de raza Nueva Zelanda Blanco, registrando una disminución en la tasa de crecimiento de los animales que tenían acceso a la planta (13.5 g día⁻¹), comparado con el grupo control (18.4 g día⁻¹). Posteriormente, se evaluó la ganancia de peso en animales separados en dos grupos: 1) leucaena; 2) leucaena + *Gliricidia sepium* y 3) dieta control, registrando 14.3, 16.7, y 16.5 g día⁻¹, evidenciando que probablemente la mezcla entre las dos especies, reduce los efectos tóxicos de la leucaena y puede generar rendimientos productivos similares a los de la dieta convencional. Tangendjaja et al. (1990) alimentaron las cruces de conejos Locales x Nueva Zelanda Blanco con diferentes proporciones de leucaena tratada y sin tratar para reducir la toxicidad de la mimosina mediante una inmersión en agua a 70°C por 10 minutos y secado al sol; en este estudio, los animales que consumieron la dieta control, registraron ganancias de peso promedio de 166 g semana⁻¹, la cual fue mejor que los tratamientos de leucaena sin tratar (122, 66, 41 g semana⁻¹) o tratada (112, 83, 5 g semana⁻¹) en niveles de inclusión de 20, 40 y 60%, respectivamente. En otro estudio, Gupta y Atreja (1998a) intentaron reducir los efectos tóxicos de la leucaena utilizando alimento tratado con 1.2% de FeCl₃ para conejos Nueva Zelanda Blanco a razón de 25 y 50% de inclusión de LL, reportando que en el tratamiento al 50% se redujo sustancialmente la toxicidad de la leguminosa, no obstante, no se evaluaron los rendimientos productivos.

Otras especies

Son pocos los artículos que evaluaron la inclusión de LL en la alimentación de otras especies como aves y peces. Oliveira et al. (2014) evaluaron la inclusión de 5 a 10% de LL en dietas para gallinas Rhode Island y New Hampshire sin obtener diferencias significativas en la GDP, en el consumo de alimento y en la conversión alimenticia. Resultados similares obtuvieron Abou-Elezz et al. (2011) quienes incorporaron niveles de 0, 5, 10 y 15% de hojas de LL en la ración diaria de gallinas Rhode Island, que presentaron tasa de postura de huevo de 57.10, 57.46, 53.25 y 47.46%, respectivamente y conversión alimenticia de 3.51, 3.41, 4.05 y 4.47 kg alimento⁻¹ kg huevo⁻¹ para los mismos tratamientos. Del mismo modo, Abou-Elezz et al. (2012) observaron reducción en el consumo de alimento de (106.81 g día⁻¹) sin LL y 98.55 g día⁻¹ con inclusión de 15% de la especie arbórea.

En dietas para peces, Wee y Wang (1987) evaluaron el valor nutritivo de la harina de LL húmeda, secada al sol y comercial, en la alimentación de alevines de *Oreochromis niloticus*, en nueve dietas experimentales formuladas para componer 25, 50 y 100% del total de la proteína en un ensayo de 70 días. En la dieta control (0% LL) los peces obtuvieron 720% de ganancia de peso, mientras que las tilapias alimentadas con algún porcentaje de inclusión de LL presentaron menor tasa rendimiento: los tratamientos con la especie húmeda, comercial y secada al sol al 25% tuvieron 550, 390 y 300% de ganancia de peso respectivamente); con el 50% de inclusión de LL tuvieron 370, 290 y 110% de ganancia de peso, respectivamente; mientras que con 100% de LL tuvieron 60, 20 y 40% de ganancia de peso, respectivamente. Resultados similares, fueron obtenidos por Santiago et al. (1988), cuando las tilapias del Nilo fueron alimentadas con 0, 20, 40 y 80% de LL, en un estudio de 24 semanas, periodo en el cual la ganancia de peso fue de 35.9, 21.8, 13.4 y -13.4 g semana⁻¹.

Toxicidad y contenido de mimosina

El uso de LL como alimento para los animales está limitado por el contenido elevado de mimosina, un metabolito no proteico producido por plantas de géneros *Leucaena* y *Mimosa*, que puede alcanzar una concentración mayor al 10% de la materia seca de algunas partes de las plantas (Cuadro 6). La

mimosina se degrada en el rumen a 3.4 a 2.4 dihidroxi piridona (3.4 y 2.4 DHP) y a niveles altos pueden ser tóxicos, generando alopecia, decaimiento, cataratas, gota, reducción del consumo de alimento, reducción del crecimiento, daño epitelial, dermatitis, problemas reproductivos y muerte (D'Mello 1992; Gupta y Atreja 1999; Pandey y Dwivedi 2007).

Cuadro 14. Concentración de mimosina en *Leucaena leucocephala*

Parte de la planta o presentación	Mimosina (%)	Fuente
Harina de hojas	1.88	(Gupta y Atreja 1999)
Harina de hojas	4.6	(Gupta y Atreja 1998b)
Rebrotos	10.8	
Folíolos jóvenes	8.8	
Pecíolo	5	
Hojas jóvenes	5.1	
Folíolos maduros	5.2	
Pecíolos maduros	1.9	
Hojas maduras	2.6	(Adeneye, 1991)
Vainas verdes	5.1	
Semillas verdes	3.2	
Vainas verdes vacías	0.5	
Vainas verdes con semillas	2.8	
Cotiledón Amarillo	12.3	
Semillas maduras	6.2	
Vainas marrones más semillas	3.9	
Hojas secas	4.5	(Samanta <i>et al.</i> 1994)
Hojas secas	1.8	(Ram <i>et al.</i> 1994)

Sin embargo, en algunas regiones del mundo, algunos animales no presentan signos de toxicidad ante altos niveles de inclusión de LL en la dieta. Esta tolerancia se debe a la presencia de microorganismos capaces de degradar la mimosina en formas menos tóxicas como el ácido pirúvico y amonio. De este modo, los animales que comen por primera vez la LL puede ser inoculado con líquido ruminal de individuos adaptados al consumo de la arbórea (Jones y Megarrity 1986) permitiendo el mayor uso de LL en la dieta diaria y menor riesgo de intoxicación. *Synergistes jonessi* ha sido identificada como la bacteria capaz de realizar la degradación de la mimosina en el rumen (Allison *et al.* 1992).

Los signos de intoxicación son causados por los metabolitos 3.4 y 2.4 DHP que pueden inhibir la división de las células en el bulbo del folículo capilar, causando caída del pelo (Reis, et al., 1999), adicionalmente, la mimosina puede actuar como un análogo de la tirosina y afectar las enzimas involucradas en su metabolismo. La mimosina también puede inhibir la transformación de la cisteína en metionina. Gupta y Atreja (1999) midieron los niveles de las hormonas T3 y T4 en bovinos alimentados con niveles crecientes de LL (25, 50, 75 y 100%) por 33 días, con un posterior reemplazo de la leucaena por alimento comercial hasta el día 55; estos autores observaron una reducción de los niveles de T3 y T4 de 2.2 y 79 a 0.9 y 49.8 ng ml⁻¹, respectivamente. Después de la eliminación de la leucaena, las concentraciones de estas hormonas (T3 y T4) se incrementaron a 1.9 y 100 ng ml⁻¹, respectivamente. En el mismo estudio cuando la leucaena se otorgó al 100%, los animales evidenciaron pérdida del cabello y salivación excesiva. Resultados similares fueron obtenidos por Gupta y Atreja (1998a), donde los niveles de T3 declinaron de 1.31 a 0.29 ng ml⁻¹ y los niveles de T4 de 77.3 a 17.2 ng ml⁻¹.

La suplementación mineral es otra alternativa para reducir los efectos tóxicos de la leucaena. Samanta et al. (1994) alimentaron vacas Holstein x Tharparkar, que presentaron síntomas de intoxicación por mimosina, con una dieta exclusiva de leucaena y una suplementación de 10 mg kg⁻¹ de Cu; el consumo de materia seca incrementó de 528.20 en el grupo control a 924.90 g día⁻¹ en los animales tratados. Ram et al. (1994) evaluaron la misma suplementación con Cu en becerros Sahiwal x Brown Swiss alimentados exclusivamente con LL y con una pérdida de peso promedio de 0.91 kg semana⁻¹, el grupo tratado mejoró su rendimiento y alcanzó una ganancia de peso de 1.05 kg semana⁻¹, mientras que los animales sin tratar llegaron a una pérdida de peso de 2.25 kg semana⁻¹.

Actividad antiparasitaria

Los metabolitos de algunas plantas, como los producidos por LL, son también conocidos por presentar propiedades antiparasitarias. Ríos-de Álvarez et al. (2012), en un estudio *in vitro* con lecitinas extraídas de LL, observaron una reducción del nivel de larvas *Haemonchus contortus* de 100 a 20 mg ml⁻¹ ante una concentración del extracto de 10 mg ml⁻¹. Alonso-Díaz et al. (2008), en otro

estudio *in vitro*, registraron una respuesta antihelmíntica de plantas taníferas en la migración larvaria de *H. contortus*, la cual fue de 96.3% en el tratamiento control y de 83.6, 76.7, 62.9, y 53.6% para concentraciones del extracto de 150, 300, 600 and 1200 $\mu\text{g ml}^{-1}$, respectivamente. Hernandez y Salem (2014), en un estudio con corderos machos Katahdin x Pelibuey observaron que, con dosis oral de 30 ml de extracto de leucaena día⁻¹ se redujo el conteo de huevecillos en heces de nemátodos de *Hemonchus sp.*, *Ostertagia sp.*, *Oesophagostomum spp.*, *Cooperia sp.*, *Bonostomum sp.*, *N. battus*, *Chaberita sp.*, *S. papillosus* y *N. spathiger*; huevos de *Strongiloides sp.*, *S. papillosus*, *Trichuris spp.*, *Nematodirus sp.*, *D. filaria* (larvae), *M. capillaris* (larvae), *Fasciola hepatica* y *Eimeria*.

3.5 CONCLUSIONES

La *Leucaena leucocephala* tiene gran potencial como fuente de alimento para la nutrición animal, debido a su valor nutricional, especialmente su contenido de proteína; adicionalmente, dada la concentración mineral que posee, puede complementar la dieta de animales en pastoreo; no obstante, ante elevados niveles de inclusión de LL en la dieta de los animales, puede haber reducción en el comportamiento productivo de los animales, ya sea por el contenido de mimosina o por desbalances entre los nutrientes ofrecidos. Por esta razón, el porcentaje de inclusión de leucaena en las dietas y la posterior combinación con otras fuentes de alimento pueden ser una alternativa para futuros estudios. Los niveles altos de inclusión en animales no rumiantes, causa efectos negativos en la salud y producción de los animales, por lo tanto, nuevas formas de reducir la toxicidad para obtener resultados positivos representan otra oportunidad de investigación.

3.6 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a CONACYT por el apoyo financiero otorgado al primer autor durante los estudios de doctorado.

3.7 REFERENCIAS BIBLOGRÁFICAS

Abdulrazak, S. A., Muinga, R. W., Thorpe, W., & Ørskov, E. R. (1997). Supplementation with *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala* on voluntary food intake, digestibility, rumen fermentation and live weight of crossbred steers offered *Zea mays* stover. *Livestock Production Science*, 49(1), 53–62. [doi:10.1016/S0301-6226\(97\)00018-3](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00018-3)

- Abou-Elezz, F. M. ., Sarmiento-Franco, L. A., Santos-Ricalde, R., & Solorio-Sánchez, F. (2012). Aparent digestibility of Rhode Island Hen's diets containing *Leucaena leucocephala* and *Moringa oleifera* leaf meals. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 15(2), 199–206.
- Abou-Elezz, F. M. ., Sarmiento-Franco, L., Santos-Ricalde, R., & Solorio-Sánchez, F. (2011). *Leucaena leucocephala* y *Moringa oleifera* en el comportamiento de gallinas Rhode Island Red. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(2), 163–170.
- Adejumo, J. O., & Ademosun, A. A. (1991a). Utilization of leucaena as supplement for growing dwarf sheep and goats in the humid zone of west Africa. *Small Ruminant Research*, 5(1–2), 75–82. doi:10.1016/0921-4488(91)90032-L
- Adeneye, J. A. (1979). A note on the nutrient and mineral composition of *Leucaena leucocephala* in western Nigeria. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 4, 221–225. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004
- Adeneye, J. A. (1991). Mimosine content in various fractions of *Leucaena leucocephala* grown in western Nigeria. *Animal Feed Science and Technology*, 33(3–4), 349–353. doi:10.1016/0377-8401(91)90073-2
- Aguilar-Pérez CF, Cárdenas-Medina JV, Santos-Flores JS. (2001). Efecto de la suplementación con *Leucaena leucocephala* sobre la productividad de vacas cruzadas, bajo dos cargas de pastoreo. *Livestock Research for Rural Development*.13, 31.
- Akora, S. K., Paroda, R. S., Joshi, U. N., Saini, U. N., & Singh, J. . (1986). Forage Yield and Quality of some Leucaena Cultivars in the Semiarid Region of Hisar. *Forest Ecology and Management*, 16, 355–366.
- Allison, M., Mayberry, W., Mcsweeney, C., & Stahl, D. (1992). *Synergistes jonesii*, gen.nov.,sp.nov a rumen bacterium that degrades toxic pyridinediols. *System.Appl.Microbiol*, 15, 522–529.
- Alonso-Díaz, M. A., Torres-Acosta, J. F. J., Sandoval-Castro, C. A., Aguilar-Caballero, A. J., & Hoste, H. (2008). *In vitro* larval migration and kinetics of exsheathment of *Haemonchus contortus* larvae exposed to four tropical tanniniferous plant extracts. *Veterinary Parasitology*, 153(3–4), 313–319. doi: 10.1016/j.vetpar.2008.01.042
- Anbarasu, C., Dutta, N., Sharma, K., & Rawat, M. (2004). Response of goats to partial replacement of dietary protein by a leaf meal mixture containing *Leucaena leucocephala*, *Morus alba* and *Tectona grandis*. *Small Ruminant Research*, 51(1), 47–56. doi: 10.1016/S0921-4488(03)00203-7
- Aregheore, E. M., & Perera, D. (2004). Effects of *Erythrina variegata*, *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala* on dry matter intake and nutrient digestibility of maize stover, before and after spraying with molasses. *Animal Feed Science and Technology*, 111(1–4), 191–201. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2003.06.001
- Aye, P. A., & Adegun, M. K. (2013). Chemical Composition and some functional properties of Moringa , Leucaena and Gliricidia leaf meals. *Agriculture an Biology Journal of North America*, 4(1), 71–77. doi:

10.5251/abjna.2013.4.1.71.77

- Bacab-Perez, H. M., & Sánchez-Solorio, F. J. (2011). Oferta y consumo de forraje y producción de leche en ganado de doble propósito manejado en sistemas silvopastoriles en Tepalcatepec, Michoacán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(3), 271–278.
- Barros-Rodríguez, M., Solorio-Sánchez, J., Ku-Vera, J., Ayala-Burgos, A., Sandoval-Castro, C., & Solís-Pérez, G. (2012). Productive performance and urinary excretion of mimosine metabolites by hair sheep grazing in a silvopastoral system with high densities of *Leucaena leucocephala*. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 17, 173–178. doi:10.1007/s11250-012-0150-0
- Bosma, R. H., & Bicaba, M. Z. (1997). Effect of addition of leaves from *Combretum aculeatum* and *Leucaena leucocephala* on digestion of Sorghum stover by sheep and goats. *Small Ruminant Research*, 24(3), 167–173. doi: 10.1016/S0921-4488(96)00945-5
- Bosman, H. G., Versteegden, C. J. G. M., Odeyinka, S. M., & Tolkamp, B. J. (1995). Effect of amount offered on intake, digestibility and value of *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala* for West African Dwarf goats. *Small Ruminant Research*, 15(3), 247–256. doi: 10.1016/0921-4488(94)00033-4
- Botero M. I. C., Cantet, J.M. Montoya, S., Correa, L. G. A. & Barahona, R. R. 2013. Producción de metano in vitro de dos gramíneas tropicales solas y mezcladas con *Leucaena leucocephala* o *Gliricidia sepium*. *Revista CES Medicina Veterinaria y Zootecnia* 8(2):15–31.
- Bugarin, J., Lemus, C., Sangines, L., Aguirre, J., Ramos, a, Soca, M., & Arece, J. (2009). Evaluation of two *Leucaena* species, associated to *Brachiaria brizantha* and *Clitoria ternatea* in a silvopastoral system from Nayarit, Mexico. Biomass production and bromatological composition. *Pastos y Forrajes*, 32(4), 379–386.
- D'Mello, J. P. F. (1992). Chemical constraints to the use of tropical legumes in animal nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 38(2–3), 237–261. doi: 10.1016/0377-8401(92)90105-F.
- Dana, N., Tegegne, A., & Shenkoru, T. (2000). Feed intake, sperm output and seminal characteristics of Ethiopian highland sheep supplemented with different levels of leucaena (*Leucaena leucocephala*) leaf hay. *Animal Feed Science and Technology*, 86(3–4), 239–249. doi: 10.1016/S0377-8401(00)00152-8
- Díaz M. J., García, M. M., Eugenio, M. E., Tapias, R., Fernández, M., & López, F. (2007). Variations in fiber length and some pulp chemical properties of *Leucaena* varieties. *Industrial Crops and Products*, 26(2), 142–150. doi: 10.1016/j.indcrop.2007.02.003
- Ekpenyong, T. E. (1986). Nutrient and amino acid composition of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. *Animal Feed Science and Technology*, 15(3), 183–187. doi:10.1016/0377-8401(86)90024-6

- Faría-Mármol, J., Chirinos, Z., & Morillo, D. E. (2007). La sustitución parcial del alimento concentrado por pastoreo con *Leucaena leucocephala* sobre la producción y características de la leche y variación de peso vacas. *Zootecnia Tropical*, 25(4), 245–251.
- Fortes, D., La, O. O., Chongo, B., & Scull, I. (2003). Una nota acerca de la composición química de seis ecotipos de *Leucaena leucocephala*. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 37(1), 51–54.
- García, G. W., Ferguson, T. U., Neckles, F., & Archibald, K. E. (1996). The nutritive value and forage productivity of *Leucaena leucocephala*. *Animal Feed Science and Technology*, 60(1–2), 29–41. doi:10.1016/0377-8401(95)00922-1.
- García, M., Wencomo, G., Gonzáles, C., Medina, R., & Cova, O. (2008). Caracterización de diez cultivares forrajeros de *Leucaena leucocephala* basada en la composición química y la degradabilidad. *Rev.MVZ Córdoba*, 13(2), 1294–1303.
- González-García, E., O. Cáceres, H. Archimede, y H. Santana. 2009. Nutritive value of edible forage from two *Leucaena leucocephala* cultivars with different growth habit and morphology. *Agroforestry Systems*. 77(2):131–141.
- Gupta, H., & Atreja, P.(1998a). Influence of ferric chloride treated *Leucaena leucocephala* on metabolism of mimosine and 3-hydroxy 4(1H)-pyridone in growing rabbits. *Animal Feed Science and Technology*, 74(1), 45–55. doi: 10.1016/S0377-8401(98)00172-2.
- Gupta, H., & Atreja, P. (1998b). Influence of gradual adaptation of cattle to *Leucaena leucocephala* leaf meal on biodegradation of mimosine and 3-hydroxy-4(1H)-pyridone (3,4 DHP) in rumen, their levels in blood, fate and influence of absorbed DHP on thyroid hormones and liver enzymes. *Animal Feed Science and Technology*, 74(1), 29–43. doi:10.1016/S0377-8401(98)00167-9
- Gupta, H. K., & Atreja, P. P. (1999). Influence of feeding increasing levels of leucaena leaf meal on the performance of milch goats and metabolism of mimosine and 3-hydroxy-4 (1H) pyridone. *Animal Feed Science and Technology*, 78(1–2), 159–167. doi:10.1016/S0377-8401(98)00263-6
- Gusha, J., Halimani, T. E., Ngongoni, N. T., & Ncube, S. (2015). Effect of feeding cactus-legume silages on nitrogen retention, digestibility and microbial protein synthesis in goats. *Animal Feed Science and Technology*, 206, 1–7. doi:10.1016/j.anifeedsci.2015.04.017
- Harrison, M. T., McSweeney, C., Tomkins, N. W., & Eckard, R. J. (2015). Improving greenhouse gas emissions intensities of subtropical and tropical beef farming systems using *Leucaena leucocephala*. *Agricultural Systems*, 136, 138–146. doi:10.1016/j.agsy.2015.03.003
- Hernandez, P. M., & Salem, A. Z. M. (2014). Anthelmintic effects of *Salix babylonica* L . and *Leucaena leucocephala* Lam . extracts in growing lambs. *Tropical Animal Health and Production*, 46, 173–178. doi:10.1007/s11250-013-0471-7

- Herrera, D. M., Ramírez, H., Leonard, J. L., & Álvarez, I. (2012). Valor nutritivo de *Leucaena leucocephala*, con énfasis en el contenido de metabolitos secundarios. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 13(11), 1–10.
- Hiwale, S. (2015). *Sustainable horticulture in semiarid dry lands*. Berlin: Springer.
- Hove, L., Topps, J. H., Sibanda, S., & Ndlovu, L. R. (2001). Nutrient intake and utilisation by goats fed dried leaves of the shrub legumes *Acacia angustissima*, *Calliandra calothyrsus* and *Leucaena leucocephala* as supplements to native pasture hay. *Animal Feed Science and Technology*, 91(1–2), 95–106. doi: 10.1016/S0377-8401(01)00233-4
- Jag Jiwam Ram, P. P., Atreja, R. C., Chopra, C., & Chhabra, A. (1994). Mimosine degradation in calves fed a sole diet of *Leucaena leucocephala* in India. *Tropical Animal Health and Production*, 26, 199–206.
- Jones, R. J., & Megarrity, R. G. (1986). Successful transfer of DHP-degrading bacteria from Hawaiian goats to Australian ruminants to overcome the toxicity of *Leucaena*. *Australian Veterinary Journal*, 63(8), 259–262.
- Kakengi, a. M., Shem, M. N., Mtengeti, E. P., & Otsyina, R. (2001). *Leucaena leucocephala* leaf meal as supplement to diet of grazing dairy cattle in semiarid Western Tanzania. *Agroforestry Systems*, 52(1), 73–82. doi: 10.1023/A:1010642531865
- Kambashi, B., Picron, P., Boudry, C., Théwis, A., Kiatoko, H., & Bindelle, J. (2014). Nutritive value of tropical forage plants fed to pigs in the Western provinces of the Democratic Republic of the Congo. *Animal Feed Science and Technology*, 191, 47–56. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2014.01.012
- Karachi, M. (1998). Variation in the nutritional value of leaf and stem fractions of nineteen leucaena lines. *Animal Feed Science and Technology*, 70(4), 305–314. doi:doi.org/10.1016/S0377-8401(97)00117-X
- La, O. O., Chongo, B., Fortes, D., Scull, I., & Ruiz, T. E. (2003). Características químicas de diferentes ecotipos de *Leucaena leucocephala*, según la época del año. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 37(2), 193–199.
- Laswai, G. H., Ocran, J. N., Lekule, F. P., & Sundstl, F. (1997). Effects of dietary inclusion of leucaena leaf meal with and without ferrous sulphate on the digestibility of dietary components and growth of pigs over the weight range 20-60 kg. *Animal Feed Science and Technology*, 65(1–4), 45–57. doi: 10.1016/S0377-8401(96)01081-4
- Lopez-Valoy, B., Cisneros-López, M., Valdivié Navarro, M., Sotto-Agüero, V., Ramírez de la Ribera, J., Savón, L., & Sosa, W. (2012). Indicadores del valor nutritivo del Hidroforraje de *Leucaena leucocephala* para la alimentación de conejos. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 13(2), 1–12.
- Ly, J., Reyes, J. L., Macias, M., Martinez, V., Dominguez, P. L., & Ruiz, R. (1998). Ileal and total tract digestibility of leucaena meal (*Leucaena leucocephala* Lam. de Wit) in growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 70(3), 265–273. doi:10.1016/S0377-8401(96)01106-6
- Maasdorp, B. V., Muchenje, V., & Titterton, M. (1999). Palatability and effect on

- dairy cow milk yield of dried fodder from the forage trees *Acacia boliviana*, *Calliandra calothyrsus* and *Leucaena leucocephala*. *Animal Feed Science and Technology*, 77(1–2), 49–59. doi: 10.1016/S0377-8401(98)00232-6.
- Mtenga, L. a., & Laswai, G. D. (1994). *Leucaena leucocephala* as feed for rabbits and pigs: detailed chemical composition and effect of level of inclusion on performance. *Forest Ecology and Management*, 64(2–3), 249–257. doi: 10.1016/0378-1127(94)90299-2
- Mtenga, L. A., & Shoo, R. a. (1990). Growth rate, feed intake and feed utilization of small East African goats supplemented with *Leucaena leucocephala*. *Small Ruminant Research*, 3(1), 9–18. doi:10.1016/0921-4488(90)90026-3
- Molina I. C., Angarita, E. A., Mayorga O. L., y Chará, J. (2016). Effect of *Leucaena Leucocephala* on Methane Production of Lucerna Heifers Fed a Diet Based on *Cynodon Plectostachyus*. *Livestock Science* 185:24–29.
- Murgueitio, E., Calle, Z., Uribe, F., Calle, A., & Solorio, B. (2011). Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *Forest Ecology and Management*, 261(10):1654-1663.
- Ndemanisho, E. E., Mtenga, L. a., Kimbi, E. F. C., Kimambo, a. E., & Mtengeti, E. J. (1998). Substitution of dry *Leucaena leucocephala* (DLL) leaves for cotton seed cake (CSC) as a protein supplement to urea treated maize stover fed to dairy weaner goats. *Animal Feed Science and Technology*, 73(3–4), 365–374. doi: 10.1016/S0377-8401(98)00139-4.
- National Research Council. (2000). *Nutrient requirements of beef cattle*. Washington D.C. National Academic Press.
- National Research Council. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle*. Washington D.C. National Academic Press.
- National Research Council. (2007). *Nutrient requirements of small ruminants*. Washington D.C. National Academic Press.
- National Research Council. (2012). *Nutrient requirements of swine*. National Washington D.C. National Academic Press.
- Oduguwa, B. O., Oni, A. O., Arigbede, O. M., Adesunbola, J. O., & Sudekum, K. H. (2013). Feeding potential of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) peels ensiled with *Leucaena leucocephala* and *Gliricidia sepium* assessed with West African dwarf goats. *Tropical Animal Health and Production*, 45(6), 1363–1368. doi: 10.1007/s11250-013-0370-y.
- Ojo, V. O. A., Aina, A. B. J., Fasae, O. A., Oni, A. O., Aderinboye, R. Y., Dele, P. A., Jolaosho, A. O. (2014). Effects of supplementing *Leucaena leucocephala* and conserved forages from natural pasture on the performance of grazing calves. *Tropical Animal Health and Production*, 46(1), 197–202. doi: 10.1007/s11250-013-0476-2.
- Oliveira, A. N., Freitas, E. R., Cruz, C. E. B., Filgueira, T. M. B., Nascimento, G.

- A. J. Do, & Lima, R. C. (2014). Inclusion of leucaena leaf hay in the diet of laying hens during the growing phase. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 36(3), 297. doi: 10.4025/actascianimsci.v36i3.21834.
- Onwudike, O. C. (1995). Use of the legume tree crops *Gliricidia sepium* and *Leucaena leucocephala* as green feeds for growing rabbits. *Animal Feed Science and Technology*, 51(1–2), 153–163. doi: 10.1016/0377-8401(94)00643-N
- Pamo, E. T., Boukila, B., Fonteh, F. a., Tendonkeng, F., Kana, J. R., & Nanda, a. S. (2007). Nutritive value of some grasses and leguminous tree leaves of the Central region of Africa. *Animal Feed Science and Technology*, 135(3–4), 273–282. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2006.07.001
- Pandey, A. K., & Dwivedi, U. N. (2007). Induction, isolation and purification of mimosine degradation enzyme from newly isolated *Pseudomonas putida* STM 905. *Enzyme and Microbial Technology*, 40(5), 1059–1066. doi: 10.1016/j.enzmictec.2006.08.010
- Ram, J. J., Atreja, P. P., Chopra, R. C., & Chhabra, A. (1994). Mimosine degradation in calves fed a sole diet of *Leucaena leucocephala* in india. *Tropical Animal Health and Production*, 26, 199–206.
- Reis, P. J., Puchala, R., Sahl, T., y Goetsch, A. L. (1999). Effects of mimosine on plasma amino acid concentrations on Angora goats. *Journal of Animal Science*. 33:55–61.
- Ríos-de álvarez, L., Jackson, F., Greer, A., Bartley, Y., Bartley, D. J., Grant, G., & Huntley, J. F. (2012). In vitro screening of plant lectins and tropical plant extracts for anthelmintic properties. *Veterinary Parasitology*, 186(3–4), 390–398. doi: 10.1016/j.vetpar.2011.11.004.
- Rodríguez, R., González, N., Alonso, J., Domínguez, M., & Sarduy, L. (2014). Valor nutritivo de harinas de follaje de cuatro especies arbóreas tropicales para rumiantes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 48, 371–378.
- Rubanza, C. D. K., Shem, M. N., Otsyina, R., & Fujihara, T. (2005). Performance of Zebu steers grazing on western Tanzania native forages supplemented with *Leucaena leucocephala* leaf meal. *Agroforestry Systems*, 65(3), 165–174. doi:10.1007/s10457-005-0503-z
- Samanta, A. K., Chopra, R. C., Atreja, P. P., & Chhabra, A. (1994). An attempt to inactivate mimosine of *Leucaena leucocephala* by mineral supplementation for feeding to ruminants. *Animal Feed Science and Technology*, 50(1–2), 157–165. doi: 10.1016/0377-8401(94)90016-7.
- Santiago, C. B., Aldaba, M. B., Laron, M. A., & Reyes, O. S. (1988). Reproductive performance and growth of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) broodstock fed diets containing *leucaena leucocephala* leaf meal. *Aquaculture*, 70, 53–61.
- Sobale, B. N., Kharat, S. T., Prasad, V. L., Joshi, A. L., Rangnekar, D. V., & Deshmukh, S. S. (1978). Nutritive value of *leucaena leucocephala* for growing bull calves. *Tropical Animal Health and Production*. 10:237–241.

- Srivastava, S. N. ., & Sharma, K. (1998). Response of goats to pelleted diets containing different proportions of sun-dried *Leucaena leucocephala*. *Small Ruminant Research*, 28(2), 139–148. doi: 10.1016/S0921-4488(97)00069-2.
- Tangendjaja, B., Rahardjo, Y., C. & Lowry J. B. (1990). Leucaena leaf meal in the diet of growing rabbits: evaluation and effect of a low - mimosine treatment. *animal Feed Science and Technology*. 29:63–72.
- Tesfay, T., & Tesfay, Y. (2013). Partial replacement of dried *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit leaves for noug (*Guizotia abyssinica*) (L.f.) Cass. seed cake in the diet of highland sheep fed on wheat straw. *Tropical Animal Health and Production*, 45(2), 379–385. doi: 10.1007/s11250-012-0227-9.
- Tewari, S. ., Katiyar, R. ., Ram, B., & Misra, P. . (2004a). Effect of age and season of harvesting on the growth, coppicing characteristics and biomass productivity of *Leucaena leucocephala* and *Vitex negundo*. *Biomass and Bioenergy*, 26(3), 229–234. doi:10.1016/S0961-9534(03)00118-1.
- Tewari, S. K., Katiyar, R. S., Ram, B., & Misra, P. N. (2004b). Effect of age and season of harvesting on the growth, coppicing characteristics and biomass productivity of *Leucaena leucocephala* and *Vitex negundo*. *Biomass and Bioenergy*, 26(3), 229–234. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(03\)00118-1](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00118-1)
- Tomkins, N. W., McMeniman, N. P., & Daniel, R. C. W. (1991). Voluntary feed intake and digestibility by red deer (*Cervus elaphus*) and sheep (*Ovis ovis*) of pangola grass (*Digitaria decumbens*) with or without a supplement of leucaena (*Leucaena leucocephala*). *Small Ruminant Research*, 5(4), 337–345. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(91\)90071-W](https://doi.org/10.1016/0921-4488(91)90071-W).
- Wee, K. O. K. L., & Wang, S.-S. (1987). Nutritive Value of Leucaena Leaf Meal in Pelleted Feed for Nile Tilapia. *Aquaculture*, 62, 97–108. doi:10.1016/0044-8486(87)90314-0
- Wencomo, H. B., & Ortiz, R. (2012). Comportamiento de la disponibilidad de biomasa y la composición química en 23 accesiones de *Leucaena spp* . *Pastos y Forrajes*, 35(1), 43–56.
- Yami, A., Litherland, A. J., Davis, J. J., Sahl, T., Puchala, R., & Goetsch, A. L. (2000). Effects of dietary level of *Leucaena leucocephala* on performance of Angora and Spanish doelings. *Small Ruminant Research*, 38(1), 17–27. doi:10.1016/S0921-4488(00)00131-0.

4. EVALUACIÓN MINERAL DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA SILVOPASTORIL INTENSIVO CON *Leucaena leucocephala*, EN TRES ÉPOCAS DEL AÑO, EN APATZINGÁN Y TEPALCATEPEC, MICHOACÁN, MÉXICO

Andrés Camilo Rodríguez Serrano – Alejandro Lara Bueno – Maximino Huerta Bravo – José Guadalupe García Muñiz

Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Zootecnia. Posgrado en Producción Animal. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. CP 56230, México

RESUMEN

En los ranchos El Vivero y Los Huarinches, ubicados respectivamente en los municipios de Apatzingán y Tepalcatepec, Michoacán, México, se realizó una evaluación mineral de los componentes del sistema silvopastoril intensivo (SSPi), suelo (0-15 y 15-30 cm de profundidad), agua, arbórea (*Leucaena leucocephala*), pastura (*Megathyrsus maximum*) y suero sanguíneo de becerros y vacas lecheras. En los dos ranchos el SSPi constó de arbustos establecidos a una densidad de 34,500 plantas ha⁻¹, pastoreadas en un esquema rotativo de 4 días x 40 de descanso, con riego en épocas secas. Se realizaron 3 muestreos, correspondientes a la época de frío, secas y lluvias. Se analizaron los minerales Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, K, Na y P; adicionalmente para las muestras vegetales se analizaron los contenidos de proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), cenizas, fibra detergente ácido (FDA) y fibra detergente neutro (FDN). La profundidad de muestreo no influyó en la concentración de minerales del suelo y se registraron niveles elevados de Fe, Ca, K y Mg, mientras que los minerales analizados en el agua permanecieron dentro de los rangos adecuados, con excepción del Fe (0.61 y 0.57 mg kg⁻¹) para los ranchos El Vivero y Los Huarinches, respectivamente. La leguminosa contribuyó con el incremento de los niveles de PC y EE del forraje, mientras que la gramínea presentó mayores niveles FDN y FDA; la concentración de Ca, Mg, K y Na fue mayor en *Leucaena leucocephala* con relación a *Megathyrsus máximum*, mientras que respectivamente la concentración de Cu (6.16 y 5.66 mg kg⁻¹), Zn (17.9 y 24.4) y P (2,584.5 y 2,682.8 mg kg⁻¹) no satisface los requerimientos para vacas lecheras, lo que pudo generar que los niveles de estos elementos en suero sanguíneo de vacas y crías Cu (0.64 y 0.54 mg kg⁻¹), Zn (0.74 y 0.60 mg kg⁻¹) y P (49.24 y 39.43 mg kg⁻¹) respectivamente, permanecieran a través de las épocas del año y en los dos ranchos evaluados, por debajo o en el mínimo adecuado. Se puede observar una complementariedad de los sistemas silvopastoriles, que puede balancear la oferta de nutrientes para vacas lecheras, no obstante, existen elementos que son deficientes tanto en la gramínea como en la leguminosa, para los cuales se pueden establecer estrategias de suplementación.

Palabras clave: Minerales, nutrición animal, *Megathyrsus maximum*, agroforestería, silvopastoreo.

ABSTRACT

A mineral evaluation on an intensive silvopastoral system (SSPi) was undertaken on two farms located in the municipalities of Apatzingán and Tepalcatepec, Michoacán, México. Mineral concentration was evaluated in soil (at depths 0-15 and 15-30 cm), water, tree leaves (*Leucaena leucocephala*), grass (*Megathyrsus maximum*) and blood serum of calves and cows. On both farms the SSPi consisted of leucaena trees established at a density of 34,500 plants ha⁻¹, rotationally grazed with 4 days occupation and 40 days rest, with irrigation in dry season. Three samplings occasions were done, corresponding to the cold, dry and rainy seasons. Minerals analyzed were Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, K, Na and P; in addition, crude protein (PC), ether extract (EE), ash, neutral detergent fiber (FDN) and acid detergent fiber (FDA) was analyzed for the plant samples. Soil depth didn't influence the concentration on minerals in soil, it was registered high levels of Ca, K and Mg, while minerals in water were between adequate ranges, except Fe (0.61 and 0.57 mg kg⁻¹) for the ranches El Vivero and Los Huarinches, respectively. The legume contributed with the increase of levels of PC and EE of the forage, while grass presented highest levels of FDN and FDA; the concentration of Ca, Mg, K and Na, was highest in *Leucaena leucocephala* compared with *Megathyrsus maximum*, while respectively the concentration of Cu (6.16 and 5.66 mg kg⁻¹), Zn (17.90 and 24.42) y P (2,584.54 and 2,682.80 mg kg⁻¹) didn't satisfy the requirements for dairy cattle, which could generate that the levels of this elements in blood serum of cows and calves Cu (0.64 and 0.54 mg kg⁻¹), Zn (0.74 and 0.60 mg kg⁻¹) y P (49.24 and 39.43 mg kg⁻¹) respectively, stayed thought the seasons of the year and in the two ranches evaluated, under the minimum adequate level. It can be seen a complementarity of the silvopastoral systems, which can balance the nutrient offer for dairy cattle, however, there are elements that are deficient in both grass and legume, for which can be established supplementation strategies.

Keywords: Minerals, animal nutrition, *Megathyrsus maximum*, agroforestry, silvopastoral systems.

4.1 INTRODUCCIÓN

Los componentes básicos de un sistema silvopastoril, pasturas, arbóreas, animales y suelo interactúan entre sí, bajo un flujo constante de elementos (Krishnamurthy y Ávila, 1999) de forma tal que los niveles de producción y el estado nutricional de los animales, dependen del grado en que se cubren requisitos nutrimentales. Esto está directamente relacionado con la concentración de nutrientes presentes tanto en pasturas como en el follaje de árboles forrajeros, y ésta a su vez está influenciada por la fertilidad del suelo y la cantidad de minerales que las plantas forrajeras absorben del mismo (McDowell, 1996).

Normalmente las gramíneas forrajeras no proveen los suficientes macronutrientes (N, Ca, Mg, K y P), micronutrientes (Cu, Zn, Fe) y otros elementos (Mayland y Hankins, 2001; McDowell, 2003) requeridos por los animales para lograr determinados parámetros productivos, por tal motivo, se ha promovido el establecimiento de sistemas silvopastoriles intensivos (más de 7000 árboles ha⁻¹) con leguminosas como la *Leucaena leucocephala* (LL) (Gaviria et al., 2012). La siembra de LL es una herramienta que, además de incrementar la oferta de alimento para rumiantes en pastoreo, contribuye a mejorar la calidad del alimento, y a corregir posibles desbalances nutricionales de las pasturas. Sin embargo, a pesar de que las leguminosas como la *Leucaena leucocephala* normalmente son más ricas en macro y micro elementos que las gramíneas forrajeras (Suttle, 2010) diversos factores afectan el contenido de cada elemento en las plantas de LL. Entre esos factores se encuentran la especie, el genotipo, las partes de la planta, estado de crecimiento y la fertilidad del suelo, entre otros (Givens et al., 2000). Del mismo modo, las concentraciones séricas de minerales en los animales son afectadas por las interacciones entre la cantidad de cada elemento que ingiere el animal en el alimento y el agua de bebida. Los minerales pueden interactuar en formas que pueden desencadenar una correcta absorción en el tracto digestivo y cumplir en conjunto con funciones metabólicas (Prasad et al., 1995) o pueden inhibir la absorción de uno o más elementos y producir efectos antagónicos mediante la formación de complejos no absorbibles, por competencia entre cationes y aniones (Suttle, 2010), lo que puede generar una disminución en los parámetros productivos esperados.

Dado lo anterior, la evaluación del aporte mineral de gramíneas forrajeras y arbóreas que los animales en sistemas silvopastoriles, debe contemplar diversos factores como: fertilidad del suelo, calidad del agua y el efecto de la época del año. Por tal motivo, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el contenido mineral de los componentes de sistemas silvopastoriles intensivos (animal, pastura, follaje de la arbórea, suelo y agua) en tres épocas del año, en dos ranchos ganaderos ubicados en Apatzingán y Tepalcatepec, Michoacán, México, para establecer el aporte de minerales y nutrientes del sistema silvopastoril intensivo con *Leucaena leucocephala* en vacas lecheras de las razas criollo lechero tropical (CLT), suizo y sus cruzas y proponer alternativas para corregir posibles desbalances nutrimentales.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en dos ranchos ganaderos (El Vivero y Los Huarinches) ubicados, respectivamente, en los municipios de Apatzingán y Tepalcatepec, en la región de la Tierra Caliente, en el Estado de Michoacán, México. La zona de estudio está ubicada a 350-370 msnm, cuenta con un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, con temperatura media anual de 28.5°C y precipitación promedio anual de 822 mm, el pH del suelo es entre neutro a alcalino (7.34) (Huerta et al., 2018). La principal actividad económica de ambos ranchos ganaderos es la producción de leche, con vacas de razas criollo lechero tropical, suizo americano y cruce comercial.

■ Sistema Silvopastoril Intensivo

En los dos ranchos ganaderos el SSPi consta de arbustos de *Leucaena leucocephala* en hileras cada 1.60 m, con densidades de 34,500 plantas ha⁻¹, en asociación con pasto tanzania (*Megathyrsus maximus*), que componen la oferta de alimento de 60% gramínea y 40% leguminosa. El pastoreo se realiza siguiendo un esquema rotativo de 4 días x 40 de descanso, con riego en épocas secas.

Muestreos

Se realizaron tres muestreos correspondientes a las épocas agroecológicas más determinantes para la producción agropecuaria en la zona (INEGI, 2017, 2009a, 2009b). Lluvias (agosto), Frío (enero) y Secas (mayo) para un total de 3 colectas.

Gramíneas y arbóreas

Se realizaron muestreos en cada rancho ganadero en las épocas establecidas, utilizando un cuadrante de 1.60 x 1.60 m que se ubicó sobre el surco de LL, el cual se trabajó como una constante, el pasto tanzania se cosechó a 30 cm del suelo y LL se defolió de forma manual tomando hojas y tallos tiernos, simulando el pastoreo y ramoneo realizado por los animales. Las muestras fueron secadas en estufa de aire forzado a 60°C hasta temperatura constante y fueron llevadas a laboratorio para el posterior análisis. Se determinó proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE) y cenizas, mediante análisis proximal (AOAC, 1990); fibra detergente ácido (FDA) y fibra detergente neutro (FDN), con el uso de un equipo analizador de fibra ANKOM 200 usando el procedimiento propuesto por Van Soest et al. (1991).

Suero sanguíneo

Se recolectaron muestras de sangre de 8 vacas y 8 crías de las razas criollo lechero tropical, suizo americano y cruce comercial. En animales adultos, la muestra de sangre se extrajo de la vena coccígea; y en los animales jóvenes de la vena yugular. La sangre fue centrifugada a 3000 revoluciones/min durante 15 minutos para posterior separación del suero sanguíneo y su conservación a -20°C.

Suelo y agua

Se recolectaron muestras de suelo a profundidades de 0 - 15 y 15 - 30 cm, en cada rancho ganadero y en cada época del año, las cuales fueron secadas y tamizadas con una malla de 0.2 mm. Se tomaron 3 muestras de agua directamente de las fuentes de bebida por cada rancho ganadero y cada época del año.

Análisis de minerales

Las concentraciones de Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, K y Na, en forraje, suero sanguíneo, suelo y agua, se determinaron mediante los procedimientos descritos por Fick et al. (1979), utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica modelo AAnalyst 700 de PerkinElmer. La concentración de P se determinó mediante colorimetría (Fick et al., 1979).

Análisis estadístico

Para los datos del contenido mineral de las muestras de suelo se utilizó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + S_j + R_k + (SR)_{jk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Dónde Y_{ij} = concentración del mineral, P_i = efecto de la i -ésima profundidad (0-15 y 15-30 cm), S_j = efecto de la j -ésima época del año (lluvias, frío y secas) R_k = efecto del k -ésimo rancho (Los Huarinches y El Vivero) y SR_{jk} = efecto de la interacción entre la época del año y el rancho ganadero.

Para el análisis de los datos de la composición mineral del agua se utilizó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + S_j + R_k + (SR)_{jk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Dónde Y_{ij} = concentración del mineral en agua, S_j = efecto de la j -ésima época (lluvias, frío y secas) R_k = efecto del k -ésimo efecto del rancho ganadero (Los Huarinches y El Vivero) y SR_{jk} = efecto de la interacción entre la época del año y el rancho ganadero.

Para el análisis de los datos del contenido nutrimental del follaje de LL y pasto tanzania se utilizó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijk} = \mu + E_i + S_j + R_k + (SR)_{jk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Dónde Y_{ij} = concentración del nutriente, S_i = efecto de la i -ésima época (lluvias, frío y secas), E_j = efecto de la j -ésima especie forrajera (pasto tanzania y leucaena) y R_k = efecto del k -ésimo efecto del rancho ganadero (Los Huarinches y El Vivero).

Para el análisis de la concentración mineral de las muestras de suero sanguíneo se utilizó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ijkl} = \mu + E_i + S_j + R_k + (SR)_{jk} + (ER)_{ik} + (ES)_{ij} + (ESR)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Dónde Y_{ij} = concentración del mineral en el suero sanguíneo, E_i = efecto de la i -ésima etapa fisiológica del animal (vaca y cría), S_j = efecto de la j -ésima época del año (lluvias, frío y secas), R_k = efecto de la k -ésima raza del animal (criollo lechero tropical, suizo americano y cruce comercial), ER_{ik} = efecto de la interacción entre etapa fisiológica del animal y el rancho ganadero, ES_{ij} = efecto de la interacción entre la etapa fisiológica del animal y la época del año, y ESR_{ijk} = efecto de la interacción entre la etapa fisiológica del animal, época del año y rancho ganadero.

Los datos fueron analizados mediante el procedimiento GLM del software estadístico SAS (2013) y la comparación de medias entre los tratamientos se hizo mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05.

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

■ Suelo y agua

Con los resultados obtenidos para las muestras de suelo, se evidenció que la profundidad de muestreo (0-15 y 15-30 cm) no afectó ($p > 0.05$) la concentración de los minerales evaluados. Esto probablemente debido a la profundidad de los suelos en los ranchos muestreados (Doran y Parkin, 1994) y a que los sistemas silvopastoriles pueden mantener y mejorar la porosidad, infiltración y aireación del mismo (Altieri, 1999; Dollinger y Jose, 2018). Contrario a lo anterior, la concentración mineral fue afectada por el efecto del rancho, evidenciando diferentes condiciones edáficas en los sitios de evaluación (Cuadro 15). Se pueden observar niveles adecuados de Cu y Zn para el desarrollo de las plantas; mientras que, los niveles de Fe son elevados para suelos que presentan un pH entre neutro y alcalino ya que estos favorecen una fijación de los componentes del elemento (Kabata-Pendias y Pendias, 2001) mientras que los niveles de Ca, K y Mg a pesar de ser elevados en especial en el rancho Vivero, concuerdan con

la disponibilidad generada por el pH del suelo. Este exceso en la proporción de minerales, puede ser influenciado por la cercanía de la zona de estudio con predios dedicados a la producción agrícola, en especial limón, el cual es demandante de fertilización constante con macro y micro elementos (Maldonado *et al.*, 2001)

Cuadro 15. Efecto del rancho para la concentración de minerales totales en suelo en Apatzingán y Tepalcatepec, Michoacán.

Mineral	El Vivero	Los Huarinches	EEM	Nivel adecuado
Cu mg kg ⁻¹	12.55 ^b	16.26 ^a	0.34	5-30*
Zn mg kg ⁻¹	31.88 ^b	64.56 ^a	1.36	20-150*
Fe mg kg ⁻¹	1477.6 ^b	1858 ^a	75.59	50-500*
Ca mg kg ⁻¹	14048.8 ^a	5042.40 ^b	541.82	1000 – 2000***
K mg kg ⁻¹	1373.4 ^b	2459.89 ^a	111.8	80-200**
Mg mg kg ⁻¹	5965.21 ^a	4636.94 ^b	319.86	60-180 ***

^{ab}Medias en la misma fila con distinto literal son diferentes (<0.05)

EEM = Error estándar de la media

* (Hooda, 2010), ** (Rayment, 2013), *** (Marx *et al.*, 1999)

La interacción de rancho ganadero con época del año en la concentración de Cu, Zn, Ca y K en el suelo fue importante ($p < 0.05$; Figura 1). Estos resultados evidencian los efectos que tiene la época del año en el estatus mineral en ambos ranchos ganaderos. La concentración de Ca en el suelo en el rancho El Vivero (16903.2 mg kg⁻¹), fue mayor ($p < 0.05$) a la registrada para el rancho Los Huarinches; sin embargo, el porcentaje de Ca disminuyó en las épocas de lluvia y frío. Aunque la concentración del mineral permaneció por arriba de los niveles adecuados (Cuadro 15). Por otro lado, la concentración de K del suelo fue mayor en la época de lluvias en ambos ranchos ganaderos, en comparación con la época de secas. No obstante, el elemento Mg permaneció a niveles constantes en el rancho Los Huarinches, sin importar la época del año.

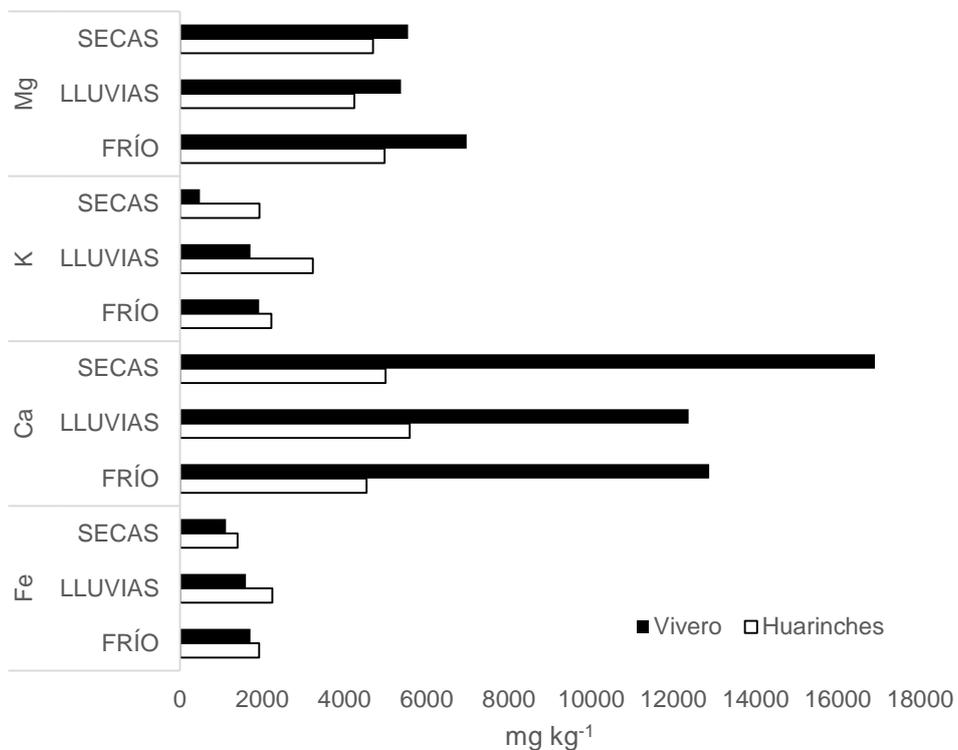
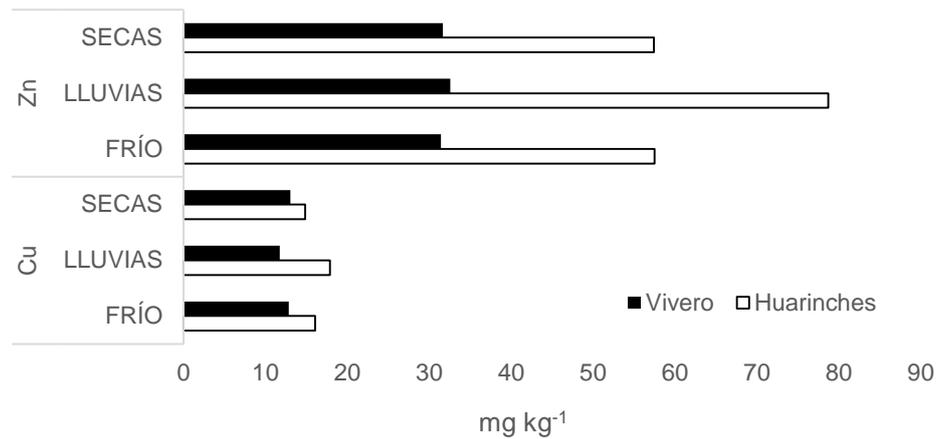


Figura 1. Efecto de la época del año sobre la concentración de Cu, Zn, Fe, Ca, K y Mg totales en el suelo de dos ranchos en Apatzingán y Tepalcatepec, Michoacán

Las concentraciones de minerales, excepto Fe, en el agua de bebida de ambos ranchos ganaderos, estuvieron por debajo de los niveles adecuados sugeridos por Puls (1988). No obstante, los niveles de Ca y Mg registradas en el agua de bebida fueron más altos ($p < 0.05$) en el rancho El Vivero (30.55 y 46.15 mg kg⁻¹, para cada elemento respectivamente) que en el rancho Los Huarinches (10.35 y

9.01 mg kg⁻¹ para cada elemento, respectivamente). Estos resultados concuerdan con la alta concentración de estos minerales en el suelo del rancho El Vivero. Del mismo modo, el nivel de Fe en el agua de bebida para el ganado en los ranchos El Vivero y Los Huarinches fue de 0.61 y 0.57 mg kg⁻¹, respectivamente, concentraciones superiores al nivel máximo tolerable sugerido por Puls (1988) (<0.4 mg kg⁻¹). Estos datos son congruentes con la elevada concentración de Fe presente en suelo en ambos ranchos ganaderos.

Forraje

Similar a lo reportado por Martínez *et al.* (2016), los niveles de proteína y EE de LL fueron superiores ($p<0.05$) a los del pasto tanzania, sin embargo, la gramínea presentó mayores concentraciones en los demás parámetros del análisis proximal y de las fibras (Cuadro 16), evidenciando una complementariedad de la leucaena en la composición nutrimental del SSPi, que permite mejorar los niveles de proteína y de grasa, a la vez que reduce la proporción de FDN y FDA en la dieta diaria de las vacas, contribuyendo también con mayor oferta de biomasa y reduciendo el consumo del componente tóxico de la leguminosa, la mimosina.

La concentración de los minerales Ca, Mg, K y Na no fue más alta en LL que en la gramínea; sin embargo, la concentración de Zn fue más alta en la gramínea que en la leucaena. Ninguna de las especies forrajeras evaluadas en este estudio, tuvieron las concentraciones adecuada para cubrir los requerimientos de Cu, Zn y P en los animales, lo cual concuerda con McDowell (1985) quien menciona que la deficiencia de P es una condición predominante en sistemas de pastoreo en el trópico. Adicionalmente, Minson (1990), reporta valores promedios de Zn y Cu al requerimiento de los bovinos para diferentes especies forrajeras, evidenciando limitaciones de ambos elementos en sistemas de producción en pastoreo, incluyendo a los SSP.

Los contenidos de Ca, Mg, K y Na de la leucaena fueron superiores a los requerimientos para vacas lecheras, lo cual es congruente con la elevada concentración de Ca, Mg y K en suelo de ambos ranchos ganaderos, evidenciando también la habilidad de la leguminosa sobre la gramínea para absorber mayor cantidad de estos elementos del suelo, ya que la especie se desarrolla mejor en suelos con mayor contenido de Ca intercambiable (Blair *et al.*, 1988). De este modo, se han reportado niveles de Ca, Mg y K en leucaena

de hasta 30000, 23000 y 11000 mg kg⁻¹, respetivamente (Aye y Adegun, 2013; García *et al.*, 2008; Kambashi *et al.*, 2014).

Cuadro 16. Efectos de la especie forrajera en las variables del análisis proximal, de las fibras y minerales para leucaena y tanzania presentes en SSPi de Aptazingán y Tepalcatepec, Michoacán, México.

Nutriente	Leucaena	Tanzania	EEM	Requerimiento*
Proteína %	24.2 ^a	8.68 ^b	0.29	15 – 16
Cenizas %	10.77 ^b	12.92 ^a	0.25	
EE %	2.30 ^a	1.60 ^b	0.18	
FDN %	40.08 ^b	71.61 ^a	0.79	25 – 33
FDA %	24.90 ^b	39.41 ^a	0.69	17 – 21
Cu mg kg ⁻¹	6.16 ^a	5.66 ^a	0.35	10 – 11
Fe mg kg ⁻¹	94.14 ^a	83.91 ^a	4.85	12 – 18
Zn mg kg ⁻¹	17.90 ^b	24.42 ^a	0.89	43 - 55
Ca mg kg ⁻¹	11569.24 ^a	3319.66 ^b	426.79	5700 - 6700
Mg mg kg ⁻¹	2532.20 ^a	1858.13 ^b	136.58	1800 – 2100
K mg kg ⁻¹	16411.41 ^a	9980.79 ^b	1202.60	11000 - 11900
Na mg kg ⁻¹	4595.39 ^a	2409.06 ^b	337.80	2000 – 2200
P mg kg ⁻¹	2584.54 ^a	2682.80 ^a	132.06	3200 – 3700
Ca:P mg kg ⁻¹	4.53 ^a	1.25 ^b	0.20	1.5 – 2 ^{**}

^{ab}Medias en la misma fila con distinto literal son diferentes (<0.05)

EEM = Error estándar de la media, EE= Extracto etéreo, FDN = Fibra detergente neutro
FDA=Fibra detergente ácido

*(NRC, 2001), **(Fisher y Waldern, 1988)

Los contenidos de Ca, Na y P, así como la relación Ca:P en el pasto Tanzania fueron diferentes en ambos ranchos ganaderos estudiados, mientras que, para la leucaena los contenidos de Cu, Mg, K y Na, fueron diferentes ($p > 0.05$) entre ambas fincas (Cuadro 17). Esas diferencias son más amplias en la composición mineral de la leucaena entre los ranchos ganaderos, que la leguminosa es más susceptible que el pasto Tanzania a las condiciones específicas de la región donde se ubica el rancho ganadero, posiblemente, por la capacidad de las arbóreas de almacenar mayor cantidad de minerales y de extraerlos de horizontes más profundos del suelo (Aguirre-Medina *et al.*, 2018; Domínguez *et al.*, 2008). Por otro lado, la concentración mineral del pasto Tanzania presenta menor variación entre los ranchos ganaderos estudiados, indicando que la

especie forrajera puede tener límites de absorción de algunos minerales, a pesar de la elevada concentración de éstos en el suelo.

Cuadro 17. Efectos del rancho para la concentración de minerales en T y LL, presentes en SSPi de Aptazingán y Tepalcatepec, Michoacán.

Leucaena				
Mineral	El Vivero	Los Huarinches	EEM	Requerimiento*
Cu mg kg ⁻¹	6.8 ^b	5.39 ^a	0.38	10 – 11
Fe mg kg ⁻¹	96.3 ^a	91.2 ^a	5.7	12 – 18
Zn mg kg ⁻¹	17. 1 ^a	18.3 ^a	0.49	43 - 55
Ca mg kg ⁻¹	12256.2 ^a	10907.6 ^a	830.4	5700 - 6700
Mg mg kg ⁻¹	2942.6 ^a	2075.7 ^b	122.5	1800 – 2100
K mg kg ⁻¹	18559.9 ^a	13983.8 ^b	1489.8	11000 - 11900
Na mg kg ⁻¹	3452.0 ^b	5603.5 ^a	421.9	2000 – 2200
P mg kg ⁻¹	2542.4 ^a	2629.8 ^a	85.6	3200 – 3700
Ca:P mg kg ⁻¹	4.46 ^a	4.41 ^a	0.044	1.5 – 2 ^{**}
Tanzania				
Cu mg kg ⁻¹	5.8 ^a	5.5 ^a	0.22	10 – 11
Fe mg kg ⁻¹	82.7 ^a	86.7 ^a	3.62	12 – 18
Zn mg kg ⁻¹	25.4 ^a	23.4 ^a	1.29	43 - 55
Ca mg kg ⁻¹	2784.2 ^b	3893.7 ^a	135.4	5700 - 6700
Mg mg kg ⁻¹	1924.8 ^a	1838.6 ^a	92.7	1800 – 2100
K mg kg ⁻¹	9340.3 ^a	10385.5 ^a	964.0	11000 - 11900
Na mg kg ⁻¹	2805.8 ^a	2095.2 ^b	155.8	2000 – 2200
P mg kg ⁻¹	2540.6 ^a	2822.5 ^b	70.6	3200 – 3700
Ca:P mg kg ⁻¹	1.14 ^b	1.37 ^a	0.06	1.5 – 2 ^{**}

Medias en la misma fila con distinta literal son diferentes (<0.05)

EEM = Error estándar de la media. *(NRC, 2001), **(Fisher y Waldern, 1988)

Las concentraciones de Ca para LL son inferiores a las obtenidas por (Figueroa *et al.*, 2016) en la Huasteca potosina de México, donde registró niveles del elemento entre 1800 – 2100 mg kg⁻¹, esta concentración superior obtenida en el presente estudio, condujo a un incremento en la relación Ca:P, la cual para LL es superior a la recomendada.

Se presentaron cambios en la concentración de varios minerales en LL y pasto Tanzania por efecto de época del año (Figura 7), mientras que los niveles de Cu y Zn permanecieron constantes para las dos especies forrajeras, aunque las

concentraciones de Fe, K y Ca, en LL fueron mayores durante la época de frío, probablemente, por la reducción de la tasa de crecimiento de la leguminosa en la estación fresca del año.

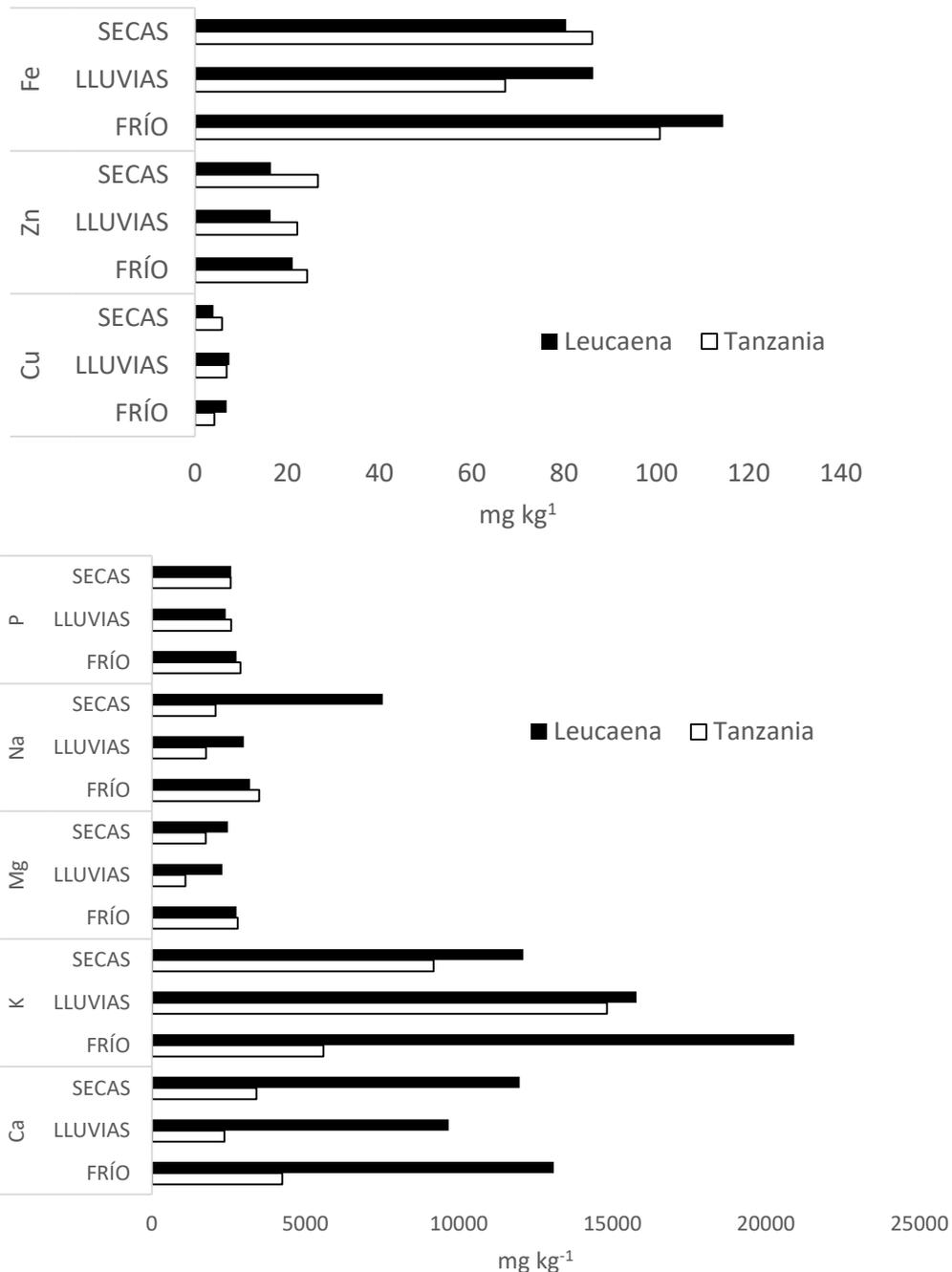


Figura 6. Efecto de la época del año en la concentración de minerales en leucaena y pasto Tanzania, en Apatzingán y Tepalcatepec, Michoacán, México.

Suero sanguíneo

No hubo efecto de la interacción entre ranchos ganaderos y etapa fisiológica del animal ($p > 0.05$) sobre la concentración de todos los minerales analizados. Sin

embargo, la interacción entre la época del año y la etapa fisiológica fue importante ($p < 0.05$) en el contenido de Zn, Ca, Na y la relación Ca:P; mientras que la triple interacción (rancho ganadero, época del año y etapa fisiológica del animal) fue importante ($p < 0.05$) para las concentraciones séricas de Cu, Mg y la relación Ca:P. Asimismo, los efectos individuales de rancho ganadero, etapa fisiológica del animal y época del año, influyeron en las concentraciones de la mayoría de los minerales en suero sanguíneo (Cuadro 18).

En ninguno de los dos ranchos evaluados, el nivel de Cu y Zn es suficiente para cubrir lo recomendado por Puls (1988), lo cual es congruente con los niveles de estos dos elementos minerales en el forraje, tanto de leucaena como de Tanzania. Asimismo, la concentración sérica de P de los animales del rancho El Vivero, está por abajo del nivel adecuado, mientras que en el rancho Los Huarinches, el contenido sérico de P apenas llega al mínimo recomendado, lo cual es consistente con el bajo contenido de P en las dos especies forrajeras analizadas. Los niveles séricos de Na también son deficientes en los animales de ambos ranchos, a pesar de que, tanto en leucaena como en Tanzania, este elemento se encuentra en rangos dentro o por encima del requerimiento para vacas lecheras (Puls, 1988).

A pesar de que la época del año influyó sobre la concentración de la mayoría de los minerales analizados en el suero sanguíneo, las concentraciones de Zn, Cu y Na, no alcanzaron el mínimo adecuado, contrario a lo que ocurrió con el P durante las lluvias, alcanzando el nivel mínimo requerido. Las concentraciones de Ca y Mg en las épocas del año analizadas están dentro de los rangos adecuados, a pesar de que estos minerales en leucaena estuvieron por encima del requerimiento para vacas lecheras, aunque pudieron ser compensados por el forraje de Tanzania. Esto evidencia que tanto la gramínea como la leguminosa contribuyen a corregir desbalances minerales generados por sus propiedades bioquímicas. Contrario a lo anterior, los niveles de K en suero sanguíneo fueron superiores al rango adecuado, tanto en las épocas de frío como de lluvias, lo cual es consistente con los aportes de K en Leucaena y pasto Tanzania, en los dos ranchos. Según Marx *et al.* (1999) excesos de K en el suelo, conducen a incrementar el contenido de este elemento en las pasturas, lo que posteriormente

puede tener efectos negativos en la salud del animal cuando se sobrepasa el máximo tolerable.

Cuadro 18. Concentración de minerales en suero sanguíneo de vacas y crías presentes en SSPi en dos ranchos de Apatzingán y Tepalcatepec, Michoacán, en tres épocas del año.

Rancho Época Etapa	Cu	Zn	Fe	Ca	Mg	K	Na	P	Ca:P
Mg kg ⁻¹									
Rancho									
Los Huarinches	0.6 ^a	0.7 ^a	2.7 ^a	110.1 ^a	19.7 ^a	238.3 ^a	2790.8 ^a	45.4 ^a	2.6 ^a
El Vivero	0.5 ^b	0.6 ^b	1.7 ^b	109.0 ^a	19.6 ^a	196.7 ^b	2370.9 ^b	43.2 ^a	2.5 ^a
EEM	0.01	0.018	0.15	2.42	0.50	6.88	62.24	1.01	0.066
Época									
Frío	0.6 ^a	0.7 ^a	2.2 ^a	130.1 ^a	19.7 ^a	231.4 ^a	2574.7 ^a	39.2 ^b	3.4 ^a
Lluvias	0.5 ^a	0.6 ^a	2.4 ^a	100.7 ^b	20.9 ^a	192.4 ^b	2741.4 ^a	48.8 ^a	2.1 ^b
Secas	0.5 ^b	0.6 ^a	2.1 ^a	97.8 ^b	18.5 ^b	228.6 ^a	2426.4 ^b	44.8 ^a	2.2 ^b
EEM	0.021	0.21	0.20	3.07	0.6	8.5	77.6	1.23	0.08
Etapa fisiológica									
Cría	0.6 ^a	0.7 ^a	2.5 ^a	108.7 ^a	17.4 ^b	219.1 ^a	2634.1 ^a	49.2 ^a	2.2 ^b
Vaca	0.5 ^b	0.6 ^b	2.0 ^b	110.4 ^a	21.9 ^a	215.8 ^a	2527.6 ^a	39.4 ^b	2.9 ^a
EEM	0.017	0.019	0.16	2.50	0.51	7.03	63.5	1.03	0.06
R. Adecuado*	0.8 -1.5	0.8-1.4	1.3-2.5	80-110	18-35	159-198	3015-3450	45-60	1.3-2.7
Efectos e interacciones									
Rancho	.0094	.0088	<.0001	0.89	0.79	.0004	<.0001	0.13	0.55
Época	0.044	.0147	0.10	<.0001	.0014	.0006	<.0001	<.0001	<.0001
Etapa	<.0001	<.0001	0.0129	0.95	<.0001	0.98	.041	<.0001	<.0001
R*S	0.45	.0043	<.0001	<.0001	0.32	<.0001	.0002	0.77	<.0001
R*E	0.68	0.14	0.25	0.43	0.67	0.97	0.45	0.11	0.66
S*E	0.26	.0035	0.24	.0027	0.99	0.064	0.020	0.60	.0116
R*S*E	.0041	0.44	0.41	0.67	0.025	0.601	0.57	0.34	0.33

^{ab}Medias en la misma fila con distinta literal, son diferentes (<0.05)

EEM = Error estándar de la media.

*Rango adecuado (Puls, 1988)

R=Rancho, S=Época, E=Etapa fisiológica

Tanto crías como vacas adultas presentaron niveles séricos de Cu, Zn y Na por debajo de los niveles adecuados, mientras que los animales adultos evidenciaron deficiencias de P y, a pesar de que el nivel de este elemento en las crías fue superior al de las vacas, la deficiencia fue persistente, ya que el rango adecuado de P para bovinos jóvenes es de 60 – 90 mg kg⁻¹ (Puls, 1988). Del

mismo modo, las crías presentaron ligera deficiencia de Mg, probablemente debido a que la leche fue relativamente baja en este elemento (0.1 a 0.2 g L⁻¹) (Suttle, 2010); mientras que, para ambos tipos de animal, la concentración de K en suero sanguíneo fue superior a los rangos adecuados.

4.4 CONCLUSIONES

En sistemas silvopastoriles intensivos los forrajes *Leucaena leucocephala* y *Megathyrsus maximus* (pasto Tanzania) se complementan y contribuyen a mejorar el balance mineral de la dieta diaria ofrecida a las vacas lecheras; en especial para PC, EE, FDN, FDA, Ca, Mg y relación Ca:P. No obstante, independientemente de las diferentes condiciones edáficas de cada rancho ganadero, la especie vegetal y la época del año son responsable de las deficiencias de Cu, Zn y P en los animales estudiados.

Los niveles séricos de Ca, Mg y la relación Ca:P se encuentran dentro de los rangos adecuados según la literatura, mientras que los niveles de Cu, Zn, Na y P, se encuentran por abajo de las concentraciones normales. Estos resultados son consistentes con las concentraciones minerales en el alimento diario ofrecido, mientras que el K es elevado en pasto Tanzania y leucaena, ya que está por encima del rango normal en el suero sanguíneo.

Debido a que las concentraciones Cu, Zn y P de forraje y suero sanguíneo son bajas, es conveniente implementar estrategias de suplementación mineral al ganado que permitan incrementar el consumo de estos minerales, hasta alcanzar los requerimientos para mantenimiento y producción de las vacas lecheras y sus crías.

4.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre-medina, J. F., Gálvez-lópez, A. L., & Ibarra-puón, J. C. (2018). Crecimiento de *Leucaena leucocephala* (Lam .) de Wit biofertilizada con hongos micorrízicos arbusculares en vivero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 24(1), 49–58. doi: 10.5154/r.rchscfa.2017.07.043.
- Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74, 19–31.
- AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis* (15th ed). Arlington; Association of official analytical chemists, Inc.

- Aye, P. A., & Adegun, M. K. (2013). Chemical composition and some functional properties of Moringa, Leucaena and Gliricidia leaf meals. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 4(1), 71–77. doi:10.5251/abjna.2013.4.1.71.77
- Blair, G. J., Lithgow, K. B., & Orchard, P. W. (1988). The effects of pH and calcium on the growth of *Leucaena leucocephala* in an oxisol and ultisol soil. *Plant and Soil* 214, 209–214.
- Dollinger, J., Jose, S., (2018). Agroforestry for soil health. *Agrofor. Syst.* 92, 213–219. doi: 10.1007/s10457-018-0223-9
- Domínguez M. T., Marañón, T., Murillo, J. M., Schulin, R., & Robinson, B. H. (2008). Trace element accumulation in woody plants of the Guadamar Valley, SW Spain: A large-scale phytomanagement case study. *Environmental Pollution*, 152, 50–59. doi: 10.1016/j.envpol.2007.05.021
- Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1994). Defining and assessing soil quality. *SSSA, Special publication* (35), 1–20.
- Fick, K., R., McDowell, L. R., Miles, P. H., Wilkinson, N. S., Funk, J. D., Conrad, J. D. y Valdivia, R. (1979). *Methods of mineral analysis for plant and animal tissues*. (2nd ed). Gainesville: University of Florida.
- Figueroa I. S., Bueno, A. L., Alberto, L., Romero, M., & Bravo, M. H. (2016). Composición química y mineral de leucaena asociada con pasto estrella durante la estación de lluvias. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Publicación*(16), 3173–3183.
- Fisher, L. J., & Waldern, D. E. (1988). *Minerals and vitamins for dairy cows*. Ottawa: Agriculture Canada Publication.
- García, M., Wencomo, G., Gonzáles, C., Medina, R., & Cova, O. (2008). Caracterización de diez cultivares forrajeros de *Leucaea leucocephala* basada en la composición química y la degradabilidad. *Rev.MVZ Córdoba*, 13(2), 1294–1303.
- Gaviria X., Sossa, C., Montoya C., Chará J., Lopera J., Córdoba C., & Barahonna R., (2012). Producción de carne bovina en sistemas silvopastoriles intensivos en el trópico bajo colombiano. VII Congreso Latinoamericano de sistemas agroforestales para la producción animal sostenible. Belém do Pará, Brasil. p. 661-665
- Givens, D. ., Owen, E., Axford, R. F. ., & Omed, H. M. (2000). *Forage evaluation in ruminant nutrition*. Wallingford: CABI Publishing.
- Hooda, P. S. (2010). *Trace elements in soils*. London: Wiley.
- Huerta O.F., Maldonado, T.R., Álvarez-Sánchez, E., (2018). Evaluación nutrimental del suelo y limón mexicano con manejo convencional y silvopastoril, Apatzingán, Michoacán., En: E. Álvarez-Sánchez & A. Vásquez-Alarcón (Eds), *Agroforestería Para La Conservación de Los Recursos Naturales y Productividad*. Chapingo: Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo.

- INEGI, 2017. Anuario estadístico y geográfico de Michoacán de Ocampo 2017.
- INEGI, 2009a. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Apatzingán, Michoacán de Ocampo 9.
- INEGI, 2009b. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Tepalcatepec, Michoacán de Ocampo 9.
- Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2001). *Trace Elements in Soils and Plants* (3rd ed.). CRC press.
- Kambashi, B., Picron, P., Boudry, C., Théwis, a., Kiatoko, H., & Bindelle, J. (2014). Nutritive value of tropical forage plants fed to pigs in the Western provinces of the Democratic Republic of the Congo. *Animal Feed Science and Technology*, 191, 47–56. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2014.01.012
- Krishnamurthy, L., & Ávila, M. (1999). *Agroforesteria básica*. México D.F.: Programa de las naciones unidas para el medio ambiente.
- Maldonado, T. R., Etchevers, J. D., Alcántar, G. G., Rodríguez, A. J., & Colinas, L. M. T. (2001). Estado nutrimental del limon mexicano en suelos calcimorficos. *Terra*, 19(2), 163–174.
- Martínez, M. M., Cruz, A. R., Bueno, A. L., Alberto, L., Romero, M., & Huerta, M. (2016). Composición nutricional de leucaena asociada con pasto estrella en la Huasteca Potosina de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Publicación especial, 16, 3343-3355.
- Marx, E. S., J. H., & Stevens, R. G. (1999). Soil Test Interpretation Guide. *Oregon State University Extension Service*, (3), 1–8.
- Mayland, H. F., & Hankins, J. L. (2001). Mineral Imbalances and Animal Health : A Management Puzzle. *Station Bulletin. Idaho Forst, Wildlife and Range Experiment Station*, 73, 441–446.
- McDowell, L. R. (1985). *Nutrition of grazing ruminants in warm climates*. Orlando: Academic press, INC.
- McDowell, L. R. (1996). Feeding minerals to cattle on pasture. *Animal Feed Science and Technology*, 60(3–4), 247–271. doi:10.1016/0377-8401(96)00983-2.
- McDowell, L. R. (2003). *Minerals in animal and human nutrition* (2nd ed.). *Amsterdam*: Elsevier.
- Minson, D. J. (1990). *Forage in ruminant nutrition*. San Diefgo: Academic press, INC.
- NRC. (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* (7th ed.). Washington, D.C.: National Academic Press. doi: 10.17226/9825
- Prasad, C. S., Arora, S. ., Prasad, T., Chabra, A., & Ibrahim, M. N. M. (1995). Mineral requirements and straw feedin systems. In K. Singh & J.B. Schiere. *Handbook for Straw Feeding Systems, prnciples and applications with emphasis on Indian livestock production* (pp. 225–238). New Delhi: ICAR.
- Puls, R. (1988). *Mineral levels in animal health, diagnosis data*. Clearbook:

Sherpa international.

Rayment, G. (2013). Total Potassium to Exchangeable Potassium Ratios as a Guide to Sustainable Soil Potassium Supply. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44, 113–119. doi:10.1080/00103624.2013.736140

Van Soest. P.J., Robertson, J.B., Lewis. B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74, 3583-3597.

5. INDICADORES DE BIENESTAR ANIMAL PARA VACAS LECHERAS EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL Y PASTOREO TRADICIONAL EN SABOYÁ, BOYACÁ, COLOMBIA

ANIMAL WELFARE INDICATORS FOR DAIRY CATTLE IN SILVOPASTORAL AND TRADITIONAL SYSTEMS IN SABOYÁ, BOYACÁ, COLOMBIA

Aldemar Zúñiga López* - Andrés Camilo Rodríguez Serrano** - Juan Carlos Benavides* – Fredy García*

**Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Km 14 vía Mosquera – Bogotá, Cundinamarca. CP 250047. Colombia.

**Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Zootecnia. Posgrado en Producción Animal. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Estado de México. CP 56230, México

5.1 RESUMEN

En el municipio de Saboyá, Boyacá, Colombia, se evaluó el número de moscas *Haematobia irritans*, temperatura de capa, frecuencia respiratoria, actividad motora, distancia de fuga, suciedad y presencia de mastitis subclínica, como indicadores de bienestar animal de vacas Holstein presentes en un sistema silvopastoril, compuesto por la asociación de *Cenchrus clandestinum* y *Alnus acuminata*, y un sistema tradicional basado en el pastoreo de *Cenchrus clandestinum* en monocultivo. Se realizaron 10 muestreos entre agosto de 2015 y mayo de 2016 (uno por mes) en 30 vacas lactantes. El número de moscas por animal fue significativamente mayor ($p < 0.05$) en el sistema tradicional en comparación con el silvopastoril (55 moscas animal⁻¹ vs 33 moscas animal⁻¹, respectivamente); la temperatura de capa en el sistema a plena exposición solar fue de 37.4°C, la cual fue mayor ($p < 0.05$) a la registrada por el sistema con árboles (33.8°C), sin mostrar diferencias en la frecuencia respiratoria ($p < 0.05$). Las vacas que no contaron con la presencia de arbóreas durante las horas de pastoreo dedicaron la mayor parte del día a la consecución de alimento, mientras que las ubicadas en el sistema silvopastoril distribuyen el tiempo realizando diversos comportamientos ingestivos. La distancia de fuga y la suciedad fueron menores en el sistema silvopastoril, mientras que no se presentó diferencia significativa, respecto a los niveles de mastitis subclínica ($p < 0.05$). Los sistemas

silvopastoriles favorecen la expresión de los indicadores de bienestar animal debido a la presencia de árboles en los potreros, los cuales ofrecen la diversificación del ecosistema y generan mejores condiciones para la permanencia de las vacas en actividad de pastoreo.

Palabras clave: *Haematobia irritans*, silvopastoreo, bienestar animal, confort.

5.2 ANIMAL WELFARE INDICATORS FOR DAIRY CATTLE IN SILVOPASTORAL AND TRADITIONAL SYSTEMS IN SABOYÁ, BOYACÁ, COLOMBIA

5.3 ABSTRACT

In the municipality of Saboyá, Boyacá, Colombia was evaluated the number of *Haematobia irritans* flies, layer temperature, respiratory frequency, activity, flight distance, dirt, and subclinical mastitis presence as indicators of animal welfare for Holstein cows, located in a silvopastoral system composed by an association of *Cenchrus clandestinum* and *Alnus acuminata* and a traditional system with a monoculture of *Cenchrus clandestinum* as a basis. Seven samplings were conducted between September 2015 and May 2016 in 30 lactating cows. The number of flies per animal was significantly higher ($p < 0.05$) in the silvopastoral system compared with monoculture (42 flies animal⁻¹ and 33 flies animal⁻¹, respectively) layer temperature in the full solar exposure system was 36°C, which was higher ($p < 0.05$) than that recorded by the tree system, however the respiratory frequency was higher in the last one. Cows that did not have the presence of trees, spend most of the time obtaining food while those ubicated in the silvopastoril system distribute their time performing various ingestive behaviors. Flight distance and dirt were lower in the silvopastoril system, while there was no significance for the subclinical mastitis levels. The silvopastoral systems favor an improvement of the animal welfare indicators, thanks to the presence of trees, which offer an ecosystem diversification which generates better conditions for de permanence of grazing cows.

Keywords: *Haematobia irritans*, silvopastoral, animal welfare, confort.

5.4 INTRODUCCIÓN

Los animales domésticos están en constante interacción con el medio ambiente, el cual está siendo constantemente modificado por el hombre; esto genera un entorno que influye de forma medible sobre aspectos relevantes al bienestar animal, tales como: el desarrollo de conductas inherentes a la naturaleza de cada especie; el grado y el tiempo en el que experimentan actitudes de miedo, dolor, hambre y alteraciones de la salud, en respuesta al correcto funcionamiento de su sistema biológico (1,2). Para el caso específico de las vacas lecheras se han determinado diferentes indicadores que contribuyen a la determinación del bienestar (3) basados en las 5 libertades establecidas por la Organización Mundial para la Salud Animal en 2008: acceso a suficiente agua y alimento; confort, densidad de animales, estado de los caminos, sombra, presencia de moscas y limpieza del animal; presencia de enfermedades, entre las que se encuentran problemas podales y mastitis; la libertad de expresar su comportamiento natural; y el grado en el que los animales sienten miedo, lo que puede ser evaluado con la distancia de fuga.

La incidencia de variables meteorológicas como humedad atmosférica, radiación solar y temperatura ambiente, sobre la producción y el bienestar de las vacas lecheras, ha sido investigada por diversos autores (4–6) quienes han determinado de qué modo el estrés calórico afecta a los animales, y porqué éstos, prefieren estar bajo la sombra cuando la radiación y la temperatura son altas. Así, autores como (7) refieren los efectos de la sombra y el enfriamiento de ambiente como alternativas eficaces para evitar o disminuir los efectos del estrés calóricos de los animales.

La inclusión de árboles en arreglos silvopastoriles, es una estrategia para proveer de sombra natural las pasturas, al tiempo que se puede diversificar y mejorar la oferta de alimento, prestar servicios ambientales y generar diferentes microclimas sobre la pastura que los animales pueden utilizar (8–10). Lo que contribuye al mejoramiento de las condiciones de vida de bovinos en pastoreo. Por tal motivo, el objetivo del presente trabajo es el de comparar diferentes indicadores de bienestar animal de vacas lecheras que pastorean sistemas silvopastoriles y tradicionales de Boyacá, Colombia, para establecer si la

presencia de árboles genera un mejor hábitat para el desarrollo de la actividad lechera.

5.5 MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue desarrollada en el municipio de Saboyá, Boyacá, Colombia, ubicado a una altura de 2428 msnm a 04° 41' 43" latitud norte y 74° 12' 18" latitud oeste, con una temperatura media anual de 14°C y una precipitación media anual de 2428 mm. El sistema silvopastoril consta de cercas vivas de *Alnus acuminata* establecidos a una distancia de 2.50 m, para un total de 255 árboles por ha⁻¹ y un sistema tradicional con pasturas de *Cenchrus clidestinum*. Se evaluó el número de moscas, temperatura de capa, frecuencia respiratoria, actividad, distancia de fuga, suciedad del animal y presencia de mastitis subclínica, como indicadores de bienestar animal. Fueron realizados 10 muestreos entre agosto de 2015 y mayo de 2016 (uno por mes). Las mediciones se realizaron en 30 vacas lactantes (20 en el sistema silvopastoril y 10 en el sistema tradicional sin árboles).

■ **Número de moscas, temperatura de capa, frecuencia respiratoria y actividad**

Se midió cada variable mediante observación directa, cada 30 minutos entre las 8:00 y las 14:00 horas. Fueron contadas moscas *Haematobia irritans* presentes en un costado de cada animal (11); la temperatura de capa se tomó en cada individuo con un termómetro láser EXTECH® modelo 42570, apuntando a una distancia de 3 metros sobre la parte dorsal del animal; la frecuencia respiratoria se determinó de manera visual contando el número de respiraciones por minuto, y la actividad de la vaca fue clasificada en: acostada (a); acostada rumiando (a/r); comiendo (c); parada (p) y parada rumiando (p/r).

■ **Distancia de fuga y suciedad**

La distancia de fuga fue medida con un equipo láser Rangefinder telemetre sport 580, tomando en cuenta la distancia en metros a la cual cada animal toleraba el acercamiento del observador sin escapar (12). La suciedad del animal fue calificada en un rango de 0 (limpio) a 3 (sucio), especialmente en el vientre y tren posterior, excluyendo las pezuñas mediante el procedimiento reportado por (3).

Presencia de mastitis subclínica

El grado de incidencia de mastitis se realizó utilizando la prueba de california (CMT), que otorga resultados adecuados para estimar la mastitis subclínica (13), con calificación de 0 (para ausencia de mastitis subclínica o negativo) a 3 (animal infectado o positivo fuerte), con una calificación opcional de 4 cuando existe mastitis clínica.

Análisis estadístico

Para las variables: distancia de fuga, suciedad del animal y grado de mastitis se utilizó el modelo estadístico siguiente:

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

Dónde Y_{ij} = variable de respuesta (distancia de fuga, suciedad y grado de mastitis subclínica), S_i = efecto del i -ésimo sistema de pastoreo (silvopastoril vs convencional).

Para las variables número de moscas, temperatura de capa y frecuencia respiratoria se incluyó el efecto de la hora del día y la interacción entre el sistema de pastoreo y la hora del día:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + H_j + (SH)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde Y_{ij} = variable de respuesta (número de moscas, temperatura de capa, frecuencia respiratoria), S_i = efecto del i -ésimo sistema de pastoreo (silvopastoril vs convencional), H_j = efecto de la j -ésima hora (8:00, 8:30, 9:00, 9:30, 10:00, 10:30, 11:00, 11:30, 12:00, 12:30, 13:00, 13:30, 14:00), y SH_{ij} = interacción entre el sistema de pastoreo y la hora del día. Los datos fueron analizados mediante el procedimiento GLM, del software estadístico SAS.

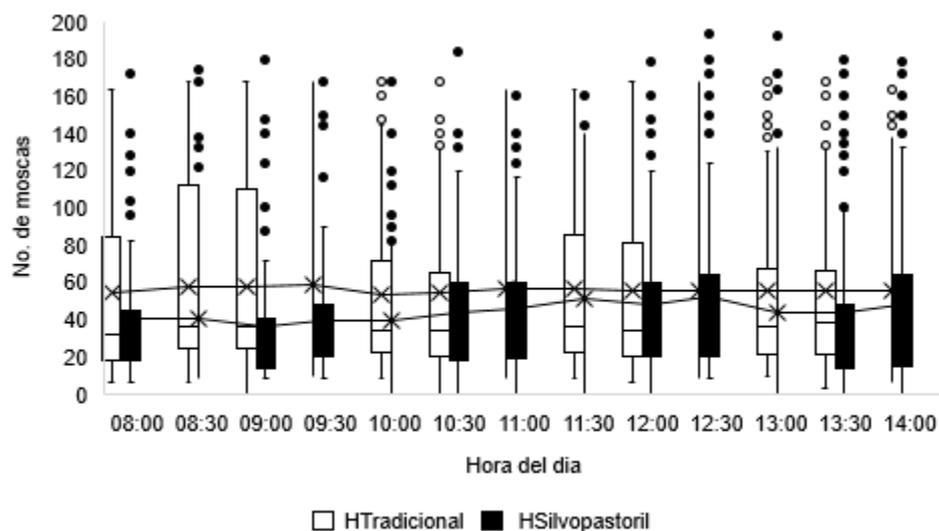
5.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Número de moscas

El número promedio de moscas *Haematobia irritans* fue significativamente menor ($p < 0.05$) en el sistema silvopastoril (44 moscas animal⁻¹) en comparación al sistema tradicional (55 moscas animal⁻¹), relación que se mantuvo independientemente de la hora en la que fueron realizadas las mediciones (Figura 8). No obstante, en el sistema silvopastoril se observó tendencia al aumento del número de moscas en las horas más cálidas del día, mientras que

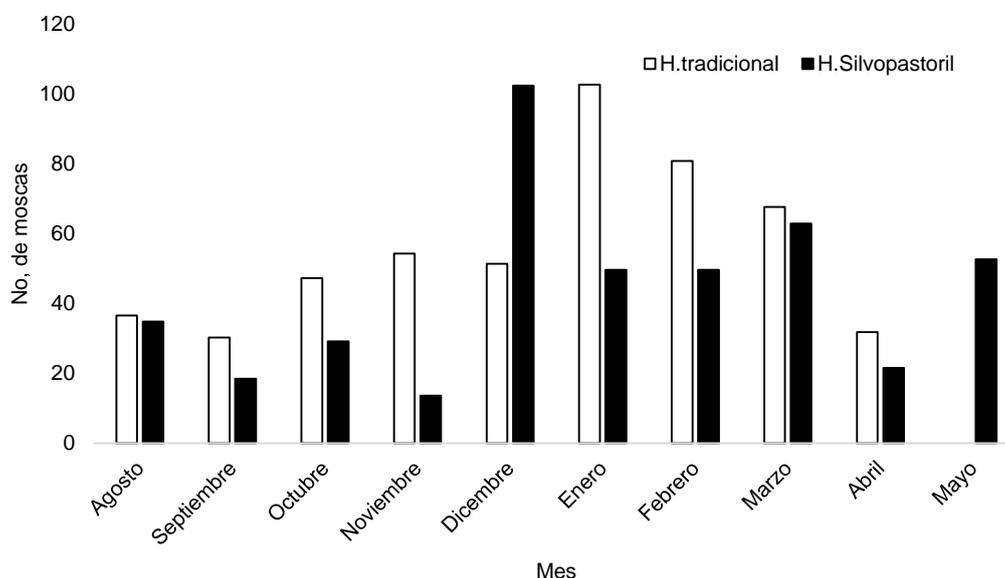
en el sistema tradicional la incidencia de moscas se mantuvo, constante, probablemente por la influencia del ambiente sobre la prevalencia de moscas, especialmente cuando la temperatura y la humedad fluctúan entre 27 y 30°C y 65 a 70% respectivamente (14). El número de moscas en los tratamiento fue similar al reportado por (15) quienes, durante un año de estudio, encontraron entre 25 y 50 dípteros animal⁻¹. No obstante, se pueden presentar grados de infestación de más de 500 individuos (16). Para el caso de sistemas silvopastoriles, (17) contaron menos cantidad de moscas del cuerno parasitando al ganado en una pastura con árboles (13.17 moscas animal⁻¹) en relación a la cantidad de moscas en el ganado manejados en pastura convencionales (24.02 moscas animal⁻¹), similar a lo observado en el presente estudio. Sin embargo, la población de parásitos depende de varios factores, incluido el grado de resistencia de cada animal (18), por lo cual es difícil aislar las mediciones y establecer la influencia de los árboles sobre la presencia de moscas.

Figura 7. Distribución del número de moscas *Haematobia irritans* durante el día en un sistema silvopastoril vs un sistema tradicional sin árboles en Boyacá, Colombia.



Existe una posible influencia de la época del año sobre la prevalencia de moscas, ya que se observa un incremento del parásito en los meses más calurosos, cuando la temperatura ambiente es mayor y la precipitación es más baja como sucede en los meses de diciembre a marzo (Figura 9).

Figura 8. Número de moscas *Haematobia irritans* en 10 meses de estudio en vacas lecheras pastoreando un sistema silvopastoril vs un sistema de pastoreo tradicional sin árboles en Boyacá, Colombia.



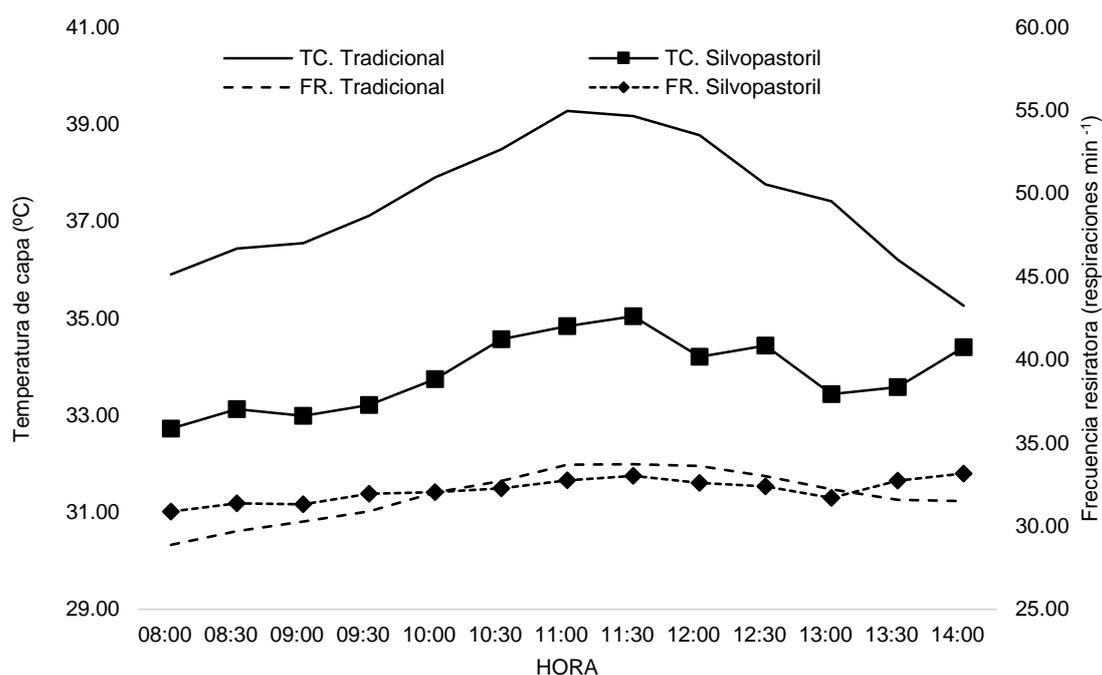
Temperatura de capa y frecuencia respiratoria

La temperatura de capa fue significativamente mayor ($p < 0.05$) en las vacas manejadas en el sistema tradicional (37.40°C) en comparación con las que estuvieron en el sistema silvopastoril ($33.8.0^{\circ}\text{C}$), diferencia que se incrementó entre las 9:30 y 12:30, evidenciando que el microclima bajo el dosel de los árboles, genera reducción de la temperatura del aire que incide sobre los animales (19). Inclusive, en zonas semi-áridas, donde las temperaturas y la radiación son elevadas, la presencia de árboles puede disminuir considerablemente la temperatura del aire y del suelo (20), condiciones que utilizan los animales como herramienta para regular el estrés calórico, ya que pueden optar por permanecer de pie bajo la sombra, que permanecer echados bajo el sol después de experimentar jornadas extremas (12 horas) sin acostarse (6)

No se tuvieron diferencias ($p > 0.05$) en la frecuencia respiratoria en las vacas manejadas en ambos tratamientos (32.1 y 31.8 respiraciones min^{-1} para el sistema silvopastoril y para el sistema tradicional sin árboles, respectivamente).

Esa relación se mantuvo constante durante el día, con menor variación en el tratamiento con árboles (Figura 10). Estos resultados se ubican en el límite superior de respiraciones por minuto de un bovino en descanso (15 - 30 respiraciones min^{-1}) (21), no obstante, este valor puede cambiar dependiendo de las condiciones ambientales donde se encuentra el animal.

Figura 9. Temperatura de capa y frecuencia respiratoria durante el día de vacas lecheras en un sistema silvopastoril vs pastoreo tradicional sin árboles de Boyacá, Colombia

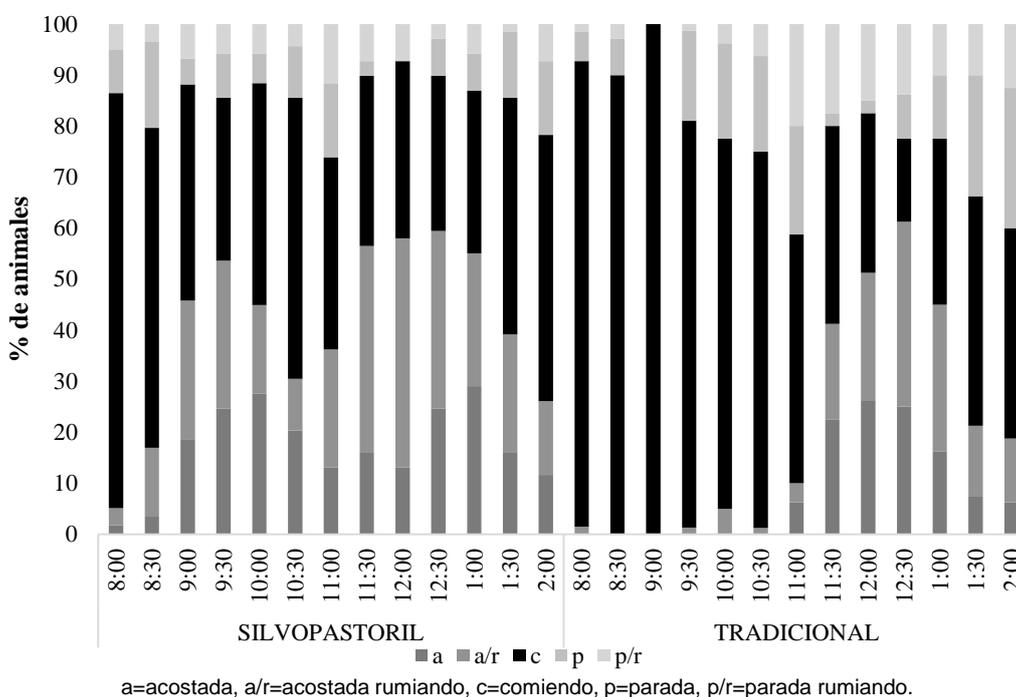


Actividad

En la Figura 11, se observa que durante las primeras horas del día las vacas tuvieron mayor consumo de alimento en ambos tratamientos, sin embargo, un agroecosistema diverso como lo es el sistema silvopastoril pudo influir el comportamiento de los animales, ya que los animales desarrollaron más actividades conforme a sus preferencias y condiciones de confort, donde el porcentaje de animales desarrollando alguna de las actividades pre-establecidas fue más variado durante el día, en comparación con las actividades de los animales que estuvieron en el sistema tradicional, en el cual la mayoría de individuos permanecieron comiendo, especialmente entre las 8:00 y las 10:30 de la mañana, mientras que entre las 12:00 y 2:00 de la tarde la mayor cantidad de vacas permanecieron en reposo (Figura 11). Adicionalmente, la calidad y

cantidad del forraje en un sistema silvopastoril puede ser superior a la de las pasturas presentes en el sistema tradicional sin árboles (22), por lo que, en el sistema silvopastoril, los animales deben buscar y consumir menos cantidad de alimento y dedican menos tiempo al pastoreo para satisfacer sus requerimientos nutricionales. Estos resultados fueron similares a los reportados por (23) en un sistema silvopastoril con presencia de eucalipto, donde los animales bajo la sombra de los árboles, pastoreaban menos tiempo en las horas de la mañana, en comparación con los que pastorearon pasturas monófitas, situación que se invirtió en las actividades de la tarde. La mitigación ambiental causada por los árboles afecta directamente el tiempo utilizado para el consumo de alimento, ya que el animal, estará en busca de sombra, especialmente en las horas más calurosas del día (9), por lo que los sistemas silvopastoriles mejores condiciones al animal comparado con los que pastorean en sistemas convencional de solo pasto.

Figura 10. Actividad de las vacas lecheras en un sistema silvopastoril vs pastoreo convencional sin árboles en Boyacá, Colombia.



Distancia de fuga y suciedad

Los sistemas silvopastoriles son modelos de producción pecuaria que requieren mayor mano de obra y manejo (24,25), por lo que los animales están más acostumbrados a la presencia de las personas que laboran en la finca y pueden

requerir menor distancia de fuga en relación a los sistemas convencionales, tal como se observó en el presente estudio (Cuadro 1). En un estudio realizado por (12) se reportan distancias de fuga para bovinos de hasta 1.5 m en sistemas estabulados y de 30 m en animales manejados en sistemas extensivos, lo cual, comparado con los resultados obtenidos indican que la tolerancia de los animales al acercamiento de personas fue mayor en sistemas silvopastoriles que en los animales manejados en sistemas convencionales sin árboles.

Se observó mayor índice de suciedad en el cuerpo de los animales presentes en el sistema de pastoreo tradicional sin árboles comparado con los animales que estuvieron en el sistema silvoastoril (Cuadro 19). Al parecer, el sistema silvopastoril proporcionó al ganado espacios de reposo más confortables para cada animal, ya que no se observaron zonas de castigo frecuentes en los esquemas de pastoreo tradicionales, donde el conjunto de animales se concentra en un solo lugar en los periodos de descanso y rumia, causando deterioro excesivo de las pasturas, que se agrava con mayores índices de compactación del suelo en esas zonas de castigo. De este modo, la presencia de árboles en los potreros ofrece mayor distribución de áreas sombreadas y conservan la estructura y textura del suelo, incrementando su porosidad y velocidad de infiltración del agua.

Cuadro 19. Distancia de fuga (m) y nivel de suciedad de vacas pastando en un sistema silvopastoril vs sistema de pastoreo tradicional, en Boyacá, Colombia.

Tratamiento	Distancia de fuga	Suciedad*
Silvopastoril	0.69 ^a ± 0.83	1.46 ^a ± 0.89
Tradicional	1.27 ^b ± 0.74	1.97 ^b ± 0.92

^{ab}Letras diferentes representan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre columnas

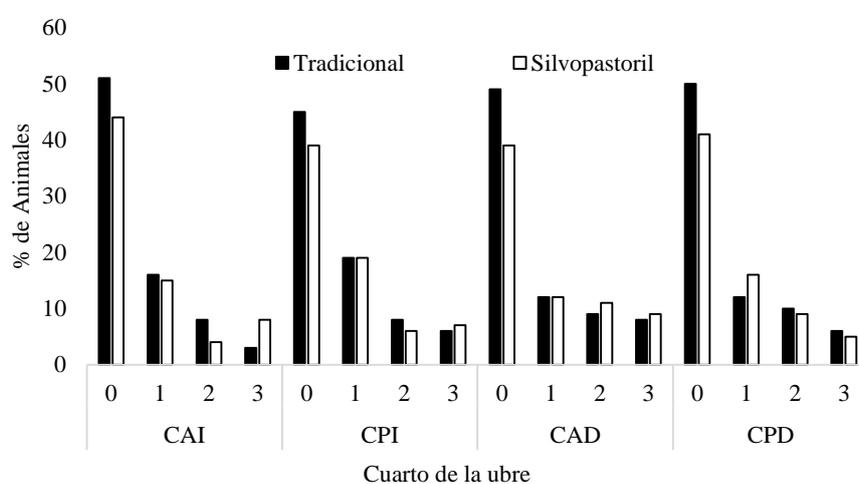
*Nivel de suciedad establecido entre valores de 0 (animal limpio) a 3 (animal sucio)

Mastitis Subclínica

No se presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) respecto a la prevalencia de mastitis en ambos grupos de vacas de los dos tratamientos. No se presentaron infecciones de mastitis superiores al tipo uno en la escala de la prueba CMT (0 – 3) en ninguno de los cuatro cuartos de la glándula mamaria de las vacas, probablemente debido a las buenas prácticas de ordeño y bajos niveles de suciedad de la ubre, disminuyendo los riesgos de infección.

Más de 50% de los animales no presentaron signos de infección en ninguno de los cuartos de la ubre y alrededor de 20% mostraron el nivel uno de mastitis subclínica, de tal forma, los niveles dos y tres tuvieron menor prevalencia (Figura 12). Estos resultados indican menor incidencia de mastitis que los reportados por (26) quienes encontraron prevalencia de mastitis subclínica de 60% de vacas Holstein evaluadas en Cuba. Del mismo modo, (26), en un estudio desarrollado en el estado de Pernambuco, Brasil, reportaron que 39.3% de vacas ordeñadas manualmente presentaron mastitis tipo uno y dos.

Figura 120. Porcentaje de animales con niveles de mastitis subclínica según la prueba de mastitis de California (CMT).



CAI=Cuarto anterior izquierdo, CPI=Cuarto posterior izquierdo, CAD=Cuarto anterior derecho, CPD=Cuarto posterior derecho

5.7 CONCLUSIONES

Hubo mayor presencia de *Haematobia irritans* en el SSP vs el sistema convencional de solo pastos, debido a que la estructura compleja del sistema silvopastoril (árboles, arbustos, pastos y animales) favorece también la presencia de moscas de los cuernos. Sin embargo, es necesaria más investigación para comprender por qué es mayor la dinámica poblacional de estos ectoparásitos en los sistemas ganaderos con árboles vs los sistemas de pastoreo convencionales sin árboles.

La temperatura de capa fue superior en los animales ubicados en el sistema de pastoreo convencional que, en los animales manejados en el sistema

silvopastoril, como respuesta al mejor confort térmico generado por la presencia de árboles.

La presencia de árboles favorece que las vacas muestren mayor variedad de acciones en el comportamiento ingestivo, con patrones de pastoreo más diversos en comparación con el pastoreo convencional en potreros sin árboles. Además, la presencia de árboles genera enriquecimiento ambiental con mayor diversidad en los horarios de pastoreo.

Las vacas que pastaron en el SSP tuvieron menor aversión hacia los humanos debido a que la distancia de fuga fue menor en este sistema que en el convencional.

La presencia de mastitis subclínica fue mayor en el sistema silvopastoril, no obstante, los cuartos de mastitis evaluados no presentaron infecciones detectables por la CMT.

5.8 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, al Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología y al Posgrado en Producción Animal de la Universidad Autónoma Chapingo por la colaboración durante los estudios del doctorado.

5.9 REFERENCIAS

1. Fraser D, Weary DM, Pajor EA, Milligan BN. A Scientific Conception of Animal Welfare that Reflects Ethical Concerns Reflects Ethical Concerns. *Anim Welf.* 1997;6:187–205.
2. Broom DM. Animal welfare: concepts and measurement. *J Anim Sci.* 1991;69(10):4167–75.
3. Tadich N. Bienestar animal en bovinos lecheros. *Rev. Colomb. Ciencias Pecu.* 2011;24(3):293–300.

4. Polsky L, von Keyserlingk MAG. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *J Dairy Sci* [Internet]. 2017;100(11):8645–57.
5. Arias RA, Mader TL, Escobar PC. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Arch Med Vet*. 2008;40(1):7–22.
6. Schütz KE, Cox NR, Matthews LR. How important is shade to dairy cattle? Choice between shade or lying following different levels of lying deprivation. *Appl Anim Behav Sci*. 2008;114(3–4):307–318.
7. West JW. Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. *J Dairy Sci* [Internet]. 2003;86(6):2131–44.
8. Murgueitio ER, Chará JD, Solarte AJ, Uribe F, Zapata C, Rivera JE. Agroforestería Pecuaria y sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) para la adaptación ganadera al cambio climático con sostenibilidad. *Rev. Colomb. Ciencias Pecu*. 2013;26(SUPPL.):313–6.
9. Paciullo DSC, de Castro CRT, Gomide CA de M, Maurício RM, Pires M de FÁ, Müller MD, *et al*. Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. *Livest. Sci*. 2011;141(2–3):166–72.
10. Murgueitio E, Calle Z, Uribe F, Calle A, Solorio B. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. *For. Ecol. Manage* [Internet]. 2011;261(10):1654–63.
11. Hillerton JE, Bramley AJ, Broom DM. The distribution of five species of flies (*Diptera: Muscidae*) over the bodies of dairy heifers in England. 1984;113–119.
12. Grandin T. Livestock behavior as related to handling facilities design. *Int. J. Stud. Anim. Prob*. 1980;1(1):31–52.
13. Whyte D, Walmsley M, Liew A, Claycomb R, Mein G. Chemical and rheological aspects of gel formation in the California Mastitis Test. *J Dairy Res*. 2005;72(1):115–121.
14. Gallardo JL, Moreno D, Waldon M, Rodríguez Mendez A. Mortalidad de la mosca del cuerno *Haematobia irritans*. *Rev Mex Ciencias Pecu*. 2000;211–218.
15. Castillo AF, Rodríguez YH, Torrente DQ, Fernández RR, Mellor LM. Dinámica poblacional de la mosca *Haematobia irritans* (Linnaeus 1758) (*Diptera: Muscidae*) en Cuba. *Rev Salud Anim*. 2016;38(3):137–41.
16. Byford RL, Craig ME, Crosby BL. A review of ectoparasites and their effect on cattle production. *J Anim Sci*. 1992;70(2):597–602.
17. Márcia MC, Nicodemo MLF, Gusmão MR, Pezzopane JRM, Bilhassi TB, Santana CH, *et al*. Differential *Haematobia irritans* infestation levels in beef

- cattle raised in silvopastoral and conventional pasture systems. *Vet Parasitol* 2017;246(August):96–99.
18. Miraballes C, Sanchez J, Barros ATM, Hitateguy S, Moreno P, Saporiti T, *et al.* Influence of selective treatment of bulls on the infestation of *Haematobia irritans* on untreated cows. *Vet Parasitol* 2018; 260:58-62 f
 19. Mahecha L. El silvopastoreo: una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina. *Rev Colomb Ciencias Pecu.* 2002;15(2):226–231.
 20. Menezes RSC, Salcedo IH, Elliott ET. Microclimate and nutrient dynamics in a silvopastoral system of semi- arid northeastern Brazil. *Agrofor Syst.* 2002;56:27–38.
 21. Jackson PGG, Cockcroft PD. *Clinical Examination of farm animals.* Oxford, UK. Blackwell Science; 2002.
 22. Bacab HM, Madera NB, Solorio FJ, Vera F, Marrufo DF. Los sistemas silvopastoriles intensivos con *Leucaena leucocephala*: una opción para la ganadería tropical. *Trop Livest* 2013;17(3):68–81.
 23. Souza W De, Barbosa OR, Araújo Marques J De, Gasparino E, Cecato U, Barbero LM. Behavior of beef cattle in silvipastoral systems with eucalyptus. *Rev Bras Zootec.* 2010;39(3):677–84.
 24. Murgueitio E, Cuellar P, Ibrahim M, Gobbi J, Cuartas CA, Naranjo JF, *et al.* Adopción de Sistemas Agroforestales. *Pastos y Forrajes.* 2006;29(4):1–17.
 25. Clavero T, Suárez J. Limitaciones en la adopción de los sistemas silvopastoriles en Latinoamérica. *Pastos y Forrajes.* 2006;29(3):1–6.
 26. García-Sánchez F, Sánchez-Santana T, López-Vigoa O, Álvarez M. Prevalence of subclinical mastitis and associated microorganisms. *Pastos y Forrajes.* 2018;41(1):33–8.