



## Evaluación mineral de los componentes del sistema silvopastoril intensivo con *Leucaena leucocephala* en tres épocas del año



Andrés Camilo Rodríguez-Serrano <sup>a</sup>

Alejandro Lara-Bueno <sup>a\*</sup>

José Guadalupe García-Muñiz <sup>a</sup>

Maximino Huerta-Bravo <sup>a</sup>

Citlalli Celeste González-Aricega <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Zootecnia, Posgrado en Producción Animal, Km 38.5 carretera México -Texcoco, Chapingo, Estado de México, México.

\*Autor para correspondencia: [alarab\\_11@hotmail.com](mailto:alarab_11@hotmail.com)

### Resumen:

Se realizó evaluación mineral de los componentes del sistema silvopastoril intensivo, suelo, agua de bebida, forraje (*Leucaena leucocephala*, *Megathyrsus máximus*) y suero sanguíneo de becerros y vacas lecheras. Se realizaron tres muestreos, en las épocas de frío, secas y lluvias. Se determinaron y analizaron Cu, Fe, Zn, Ca, Mg, K, Na y P. Se encontraron niveles elevados de Fe, Ca, K y Mg en suelo, mientras que los minerales del agua de bebida permanecieron dentro de los rangos adecuados, con excepción del Fe (0.61 y 0.57 mg kg<sup>-1</sup>) en los ranchos El Vivero y Los Huarinches, respectivamente. La concentración de Ca, Mg, K y Na fue mayor en *Leucaena leucocephala* que en *Megathyrsus máximus*, mientras que el contenido de Cu (6.16 y 5.66 mg kg<sup>-1</sup>), Zn (17.9 y 24.4) y P (2,584.5 y 2,682.8 mg kg<sup>-1</sup>) en ambos ranchos no satisfacen los requerimientos de las vacas, lo que pudo generar niveles bajos de estos elementos en suero sanguíneo, tanto en las vacas como en las crías: Cu (0.64 y 0.54 mg kg<sup>-1</sup>), Zn (0.74 y 0.60 mg kg<sup>-1</sup>) y P (49.24 y 39.43 mg kg<sup>-1</sup>), respectivamente.

**Palabras clave:** Minerales, Nutrición animal, *Megathyrus maximus*, Agroforestería, Silvopastoreo.

Recibido: 25/06/2019

Aceptado: 18/11/2020

## Introducción

Los componentes básicos de un sistema silvopastoril, pasturas, arbóreas, animales y suelo, interactúan entre sí bajo un flujo constante de elementos<sup>(1)</sup> 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 las pasturas como en el follaje de árboles forrajeros, y estos a su vez están influenciados por la fertilidad del suelo y la cantidad de minerales que las plantas forrajeras puedan absorber<sup>(2)</sup>.

Normalmente, las gramíneas forrajeras no proveen suficientes macronutrientes (N, Ca, Mg, K y P), micronutrientes (Cu, Zn, Fe) y otros elementos<sup>(3,4)</sup> requeridos por los animales para lograr determinados parámetros productivos, por tal motivo, se ha promovido el establecimiento de sistemas silvopastoriles intensivos (más de 7,000 árboles ha<sup>-1</sup>) con leguminosas como la *Leucaena leucocephala* (LL)<sup>(5)</sup>. El cultivo de LL asociada con gramíneas forrajeras es una estrategia que, además de incrementar la oferta de alimento para rumiantes en pastoreo, contribuye a mejorar la calidad del mismo, y a corregir posibles desbalances nutricionales de solo pasturas. Sin embargo, y a pesar de que las leguminosas, normalmente, son más ricas en macro y microelementos que las gramíneas forrajeras<sup>(6)</sup> diversos factores afectan el contenido de cada elemento en las plantas de LL. Entre esos factores se encuentran la especie, genotipo, partes de la planta, estado de crecimiento y fertilidad del suelo<sup>(7)</sup>. 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. Algunos minerales pueden interactuar en formas que pueden desencadenar la correcta absorción de otros minerales en el tracto digestivo y cumplir en conjunto con varias funciones metabólicas<sup>(8)</sup>, o pueden inhibir la absorción de uno o más elementos y producir efectos antagónicos mediante la formación de complejos no absorbibles, a través de competencia entre cationes y aniones<sup>(6)</sup>, lo que puede generar una disminución en los parámetros productivos esperados.

Dado lo anterior, el estado mineral de un sistema silvopastoril intensivo, está determinado por el aporte de elementos minerales de cada factor que compone al sistema, a través del

tiempo. 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 determinar el aporte de minerales y nutrientes y proponer alternativas para corregir posibles desbalances nutrimentales.

## Material 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 Tierra Caliente, en el Estado de Michoacán, México. Ambos ranchos son pioneros en la implementación de sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) con *Leucaena leucocephala* y pasto Tanzania con experiencia de más de 10 años de establecido el sistema de pastoreo y en la producción de leche para la elaboración de queso cotija (rancho Huarinches) y más recientemente en el mantenimiento y desarrollo de bovinos de la raza criollo lechero tropical y Romosinuano (rancho El Vivero). 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 (7.34) es entre neutro a alcalino<sup>(9,10)</sup>.

### 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<sup>-1</sup>, 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<sup>(10,11,12)</sup>. Lluvias (agosto), Frío (enero) y Seca (mayo) para un total de tres colectas.

### Gramíneas y arbóreas

Se realizaron muestreos en cada rancho ganadero en las épocas establecidas, adaptando la metodología utilizada por Bacab-Pérez *et al*<sup>(13)</sup>, se implementaron cuadrantes de 1.60 x 1.60 m que se ubicaron sobre el surco de LL, el cual se consideró como la línea media de cada cuadro; se distribuyeron aleatoriamente ocho cuadrantes sobre los potreros que al día

siguiente serían aprovechados por los animales, y que a su vez cumplieran 40 días de rebrote. 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; el material vegetal fue homogeneizado y se seleccionó una submuestra de 1 kg de cada especie vegetal. Las muestras se secaron en estufa de aire forzado a 60 °C hasta temperatura constante y se llevaron a laboratorio para el posterior análisis.

### Suero sanguíneo

Se recolectaron muestras de sangre de 8 vacas y 8 crías por cada raza presente en los ranchos (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 se centrifugó a 3,000 rpm durante 15 min para la separación del suero sanguíneo y su conservación a -20 °C.

### Suelo y agua

Se recolectaron 8 muestras de suelo con el fin de abarcar la mayor variedad de niveles de oferta de forraje presentes en cada potrero, a profundidades de 0 a 15 y 15 a 30 cm, en cada rancho ganadero y en cada época del año, las cuales se secaron y tamizaron con malla de 0.2 mm. Se tomaron tres muestras de agua directamente de los bebederos de cada potrero 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*<sup>(14)</sup>, utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica modelo AAnalyst 700 de PerkinElmer. La concentración de P se determinó mediante colorimetría<sup>(14)</sup>.

### Análisis estadístico

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

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

Donde

**Y<sub>ijk</sub>**= concentración del mineral;

**P<sub>i</sub>**= efecto de la *i*-ésima profundidad (0-15, 15-30 cm);

**S<sub>j</sub>**= efecto de la *j*-ésima época del año (lluvias, frío, seca);

**R<sub>k</sub>**= efecto del *k*-ésimo rancho (Los Huarinches, El Vivero);

**SR<sub>jk</sub>**= 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:

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

Donde

**Y<sub>ijk</sub>**= concentración del mineral en agua;

**S<sub>j</sub>**= efecto de la *j-ésima* época del año (lluvias, frío, seca);

**R<sub>k</sub>**= efecto del *k-ésimo* del rancho ganadero (Los Huarinches, El Vivero);

**SR<sub>jk</sub>**= 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:

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

Donde

**Y<sub>ijk</sub>**= concentración del nutriente;

**S<sub>i</sub>**= efecto de la *i-ésima* época (lluvias, frío, seca);

**E<sub>j</sub>**= efecto de la *j-ésima* especie forrajera (pasto Tanzania, leucaena);

**R<sub>k</sub>**= efecto del *k-ésimo* del rancho ganadero (Los Huarinches, El Vivero).

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

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

Donde

**Y<sub>ijkl</sub>**= concentración del mineral en el suero sanguíneo;

**E<sub>i</sub>**= efecto de la *i-ésima* etapa fisiológica del animal (vaca, cría);

**S<sub>j</sub>**= efecto de la *j-ésima* época el año (lluvias, frío, seca);

**R<sub>k</sub>**= efecto del *k-ésimo* rancho (Los Huarinches, El Vivero);

**ER<sub>ik</sub>**=efecto de la interacción entre etapa fisiológica del animal y el rancho ganadero;

**ES<sub>ij</sub>**= efecto de la interacción entre la etapa fisiológica del animal y la época del año;

**ESR<sub>ijk</sub>**= efecto de la interacción entre la etapa fisiológica del animal, época del año y rancho ganadero.

Los datos se analizaron mediante el procedimiento GLM del software estadístico SAS<sup>(15)</sup> y la comparación de medias entre los tratamientos se hizo mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de 0.05.

## Resultados y discusión

### Suelo y agua

La concentración de Cu (14.73 vs 14.04 mg kg<sup>-1</sup>), Zn (49.07 vs 47.37 mg kg<sup>-1</sup>), Fe (1661 vs 1672 mg kg<sup>-1</sup>), Ca (9412 vs 9679 mg kg<sup>-1</sup>), K (1963 vs 1870 mg kg<sup>-1</sup>) y Mg, (5275 vs 5328 mg kg<sup>-1</sup>) fue similar ( $P>0.05$ ) en las dos profundidades del suelo (0 a 15 y 15 a 30 cm), respectivamente. Esto probablemente debido a que en ambos ranchos ganaderos el suelo es profundo, lo que facilita el transporte de agua y nutrientes hacia las raíces profundas<sup>(16)</sup>, además, los sistemas silvopastoriles pueden mantener y mejorar la porosidad, infiltración y aireación del suelo<sup>(17,18)</sup>. Sin embargo, la concentración mineral del suelo mostró diferencias entre los ranchos ganaderos estudiados, evidenciando diferentes condiciones edáficas en los sitios de evaluación (Cuadro 1). En los suelos de ambos ranchos se tienen niveles adecuados de Cu y Zn para el desarrollo de las plantas; mientras que, los niveles de Fe son elevados, ya que en suelos con pH neutro o alcalino se favorece la fijación de estos minerales<sup>(19)</sup>; mientras que los niveles de Ca, K y Mg, a pesar de ser elevados, en especial en el rancho El Vivero, concuerdan con la disponibilidad generada por el pH del suelo. El alto contenido de minerales en el suelo de ambos ranchos puede estar influenciado por la cercanía de la zona de estudio con otros predios agrícolas dedicados a la producción de limón, el cual es demandante de fertilización constante con macro y microelementos como N, P, K Ca, Mg, S, Mn, Fe, Zn, Cu y B<sup>(20)</sup>. Sin embargo, en suelos con alto contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, como es el caso de los suelos con manejo silvopastoril, se puede obstaculizar la disponibilidad del Cu, lo cual puede crear deficiencia inducida de ese elemento en los pastos y en el animal que consume esos pastos, y esas carencias de Cu pueden acentuarse por exceso de zinc o manganeso<sup>(21)</sup>. Cabe señalar que varios elementos minerales, entre ellos el zinc, incrementan la biodisponibilidad en el suelo en un rango de entre 5 a 77, pero fuera de este rango cambian su estado iónico y precipitan como hidróxido, carbonato o sulfuro, por lo que la solubilidad, movilidad de estos compuestos disminuyen conforme aumenta el pH o disminuye del suelo<sup>(22)</sup>.

**Cuadro 1:** Efectos de rancho ganadero y época del año en la concentración mineral (mg kg<sup>-1</sup>) del suelo en el sistema silvopastoril intensivo

Efecto Rancho	Cu	Zn	Fe	Ca	Mg	K
Los Huarinches	16.2 <sup>a</sup>	64.5 <sup>a</sup>	1,858 <sup>a</sup>	5,042 <sup>b</sup>	4,637 <sup>b</sup>	2,460 <sup>a</sup>
El Vivero	12.5 <sup>b</sup>	31.8 <sup>b</sup>	1,478 <sup>b</sup>	14,049 <sup>a</sup>	5,965 <sup>a</sup>	1,373 <sup>b</sup>
EEM <sup>y</sup>	0.34	1.36	75.59	541.8	111.8	319.8
Efecto de época × rancho El Vivero:						
Frío	12.85 <sup>a</sup>	31.43 <sup>a</sup>	1,711 <sup>a</sup>	1,2875 <sup>b</sup>	6,970 <sup>a</sup>	1,926 <sup>a</sup>
Lluvias	11.76 <sup>b</sup>	32.55 <sup>a</sup>	1,606 <sup>a</sup>	1,2368 <sup>b</sup>	5,378 <sup>a</sup>	1,712 <sup>a</sup>
Secas	13.04 <sup>a</sup>	31.65 <sup>a</sup>	1,115 <sup>b</sup>	1,6903 <sup>a</sup>	5,547 <sup>a</sup>	482.6 <sup>b</sup>
EEM	0.31	1	97.25	875.2	616	136.28
Efecto de época × rancho Los Huarinches:						
Frío	16.06 <sup>a</sup>	57.5 <sup>b</sup>	1,928 <sup>b</sup>	4,540 <sup>a</sup>	4,976 <sup>a</sup>	2,219 <sup>b</sup>
Lluvias	17.9 <sup>a</sup>	78.74 <sup>a</sup>	2,245 <sup>a</sup>	5,585 <sup>a</sup>	4,241 <sup>a</sup>	3,231 <sup>a</sup>
Secas	14.84 <sup>b</sup>	57.45 <sup>b</sup>	1,400 <sup>b</sup>	5,001 <sup>a</sup>	4,693 <sup>a</sup>	1,930 <sup>b</sup>
EEM	0.65	2.03	1,52.3	997.7	482.2	482.2
Nivel adecuado	5-30 <sup>x</sup>	20-150 <sup>x</sup>	50-500 <sup>x</sup>	1000 2000 <sup>w</sup>	80-200 <sup>v</sup>	60-180 <sup>v</sup>

EEM= error estándar de la media; <sup>x</sup>(25) <sup>v</sup>(26) <sup>w</sup>(27).<sup>ab</sup>Medias en la misma columna con distinta literal muestran diferencias ( $P < 0.05$ ).

La interacción entre rancho ganadero y época del año en la concentración de Cu, Zn, Ca y K en el suelo fue importante ( $P < 0.05$ , Cuadro 1). La mayor concentración de Cu total en suelo en el rancho El Vivero fue mayor en la época seca, mientras que en Los Huarinches fue en la época lluviosa; en el caso del Zn, la concentración en suelo fue superior en el rancho Los Huarinches, donde se presentó mayor nivel del elemento durante las lluvias, mientras que en el rancho El Vivero, no se presentaron diferencias significativas entre las épocas del año ( $P > 0.05$ ); lo contrario ocurrió en el rancho El Vivero para el contenido de Ca en el suelo, ya que durante la época seca el nivel del este elemento fue mayor, mientras que en Los Huarinches no hubo diferencias significativas en la concentración de Ca en el suelo entre las diferentes épocas del año ( $P > 0.05$ ). Estos resultados evidencian que ante condiciones ambientales similares (temperatura y precipitación), particularidades específicas de cada rancho pueden modificar el grado de influencia sobre la concentración mineral en el suelo; por ejemplo, la disponibilidad de Cu puede afectarse por la humedad y textura del suelo, competencia con elementos como Fe y Zn y elevados niveles de materia orgánica (MO), por el contrario el Zn además de competir con Cu, puede disminuir su disponibilidad debido a bajos niveles de MO<sup>(23)</sup>. Roberts<sup>(24)</sup> encontró diferentes modificaciones en la concentración de minerales en dos regiones de Nueva Zelanda, en las mismas épocas de muestreo, atribuidas entre otras cosas a la capacidad del sistema silvopastoril de reincorporar nutrientes al suelo, mediante aportes de biomasa o excreciones de los animales. Cabe anotar que los

ranchos analizados trabajan con diferentes cargas animal y presentan objetivos de producción diferentes, por lo que las diferencias en el manejo de los animales (acordes con cada objetivo de producción) podrían incidir en los cambios en la concentración de minerales en el suelo.

Las variaciones en la concentración mineral en el suelo de los ranchos evaluados, en relación con la época del año, puede ser originada por aspectos inherentes al manejo de cada sistema de producción y a condiciones ambientales de cada lugar, aunque las similitudes presentes en temperatura y precipitación no son suficientes para explicar el comportamiento de la concentración mineral en el suelo. Los minerales en el suelo tienen interacciones complejas con el pH, que controlan la movilidad y el intercambio de iones, su precipitación y disolución, las reacciones de óxido- reducción, la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes<sup>(28)</sup>. Hay también fuertes interacciones con la materia orgánica (MO) del suelo; un exceso de materia orgánica en el suelo disminuye la absorción de varios minerales por las plantas<sup>(29)</sup>. Por esta razón, es importante señalar que el manejo de las formas de producción serán determinantes para la acumulación de los elementos minerales, más que aspectos de condición ambiental, como puede suceder en los sistemas silvopastoriles intensivos moduladores del contenido de materia orgánica, pH y aportadores de N al suelo.

Las concentraciones de minerales, excepto Fe, en el agua de bebida en ambos ranchos ganaderos y en las diferentes épocas evaluadas, estuvieron por debajo de los niveles adecuados sugeridos<sup>(30)</sup>: Cu ( $<1 \text{ mg L}^{-1}$ ), Zn ( $<8 \text{ mg L}^{-1}$ ), Fe ( $<0.4 \text{ mg L}^{-1}$ ), Ca ( $<1,000 \text{ mg L}^{-1}$ ), Mg ( $<1,000 \text{ mg L}^{-1}$ ) y K ( $<20 \text{ mg L}^{-1}$ ). No obstante, los niveles de Ca y Mg registrados en el agua de bebida fueron mayores a los requeridos ( $P < 0.05$ ) en el rancho El Vivero (30.55 y  $46.15 \text{ mg L}^{-1}$ , para cada elemento, respectivamente) comparado con el estatus de esos elementos en el rancho Los Huarinches (10.35 y  $9.01 \text{ mg L}^{-1}$  para cada elemento, respectivamente). 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  $0.57 \text{ mg L}^{-1}$ , respectivamente, concentraciones superiores al nivel máximo tolerable sugerido por Puls<sup>(30)</sup> ( $<0.4 \text{ mg L}^{-1}$ ), a partir del cual pueden aparecer síntomas de intoxicación por Fe en los animales. Estos datos son congruentes con la elevada concentración de Fe presente en los suelos de ambos ranchos ganaderos.

## Forraje

Las concentraciones de Ca, Mg, K y Na fueron más altas en el follaje de LL que el pasto Tanzania (Cuadro 2); sin embargo, la concentración de Zn fue mayor en la gramínea que en la leguminosa. Ambas especies forrajeras tuvieron concentraciones de Cu, Zn y P por debajo de los requeridos para bovinos. Estos resultados concuerdan con los ya reportados<sup>(31)</sup>, donde se menciona que la deficiencia de P es una condición predominante en sistemas de pastoreo en el trópico. Adicionalmente<sup>(32)</sup> se reportan valores promedio de Zn y Cu, inferiores al

requerimiento de bovinos para diferentes especies de gramíneas y leguminosas, evidenciando que los sistemas de producción en pastoreo, incluyendo los SSP, pueden ser limitados para cubrir los requerimientos mínimos de estos elementos.

Los contenidos de Ca, Mg, K y Na de la leucaena fueron superiores a los requeridos para vacas lecheras, lo cual es congruente con la elevada concentración de Ca, Mg y K en los suelos de ambos ranchos ganaderos, evidenciando también la habilidad de la leguminosa sobre la gramínea para absorber del suelo mayor cantidad de estos elementos, ya que la especie se desarrolla mejor en suelos con mayor contenido de Ca intercambiable<sup>(33)</sup>. De este modo, se han reportado niveles de Ca, Mg y K en leucaena de hasta 30,000, 23,000 y 11,000 mg kg<sup>-1</sup>, respetivamente<sup>(34,35,36)</sup>.

**Cuadro 2:** Efectos de la especie forrajera en la concentración mineral de leucaena y pasto Tanzania en el sistema silvopstoril intensivo (mg kg<sup>-1</sup>)

Nutriente	Leucaena	Tanzania	EEM	Requerimiento <sup>u</sup>
Cobre	6.1 <sup>a</sup>	5.6 <sup>a</sup>	0.35	10 – 11
Fierro	94.1 <sup>a</sup>	83.9 <sup>a</sup>	4.85	12 – 18
Zinc	17.9 <sup>b</sup>	24.4 <sup>a</sup>	0.89	43 – 55
Calcio	11,569 <sup>a</sup>	3,320 <sup>b</sup>	426.7	5,700 – 6,700
Magnesio	2,532 <sup>a</sup>	1,858 <sup>b</sup>	136.5	1,800 – 2,100
Potasio	16,411 <sup>a</sup>	9,981 <sup>b</sup>	1,203	11,000 – 11,900
Sodio	4,595 <sup>a</sup>	2,409 <sup>b</sup>	337.8	2,000 – 2,200
Fósforo	2,585 <sup>a</sup>	2,683 <sup>a</sup>	132	3,200 – 3,700
Ca:P	4.5 <sup>a</sup>	1.2 <sup>b</sup>	0.20	1.5 – 2 <sup>t</sup>

EEM = error estándar de la media; <sup>u(37)</sup> <sup>t(38)</sup>.

<sup>ab</sup> Medias en la misma fila con distinta literal muestran diferencias ( $P < 0.05$ ).

Los contenidos de Ca, Na y P, así como la relación Ca:P en el pasto Tanzania fueron diferentes entre ambos ranchos ganaderos (Cuadro 3); estos, con excepción de Na, están por abajo del requerimiento para vacas lecheras en pastoreo, evidenciando que, independientemente de las condiciones específicas de cada región, la gramínea por sí sola no aporta esos minerales para el mantenimiento y producción de los animales, en especial Ca. Esto puede darse porque las gramíneas de climas cálidos, suelen tener menores contenidos de minerales que las gramíneas de clima templado<sup>(32)</sup>, y por las condiciones ambientales de cada región, lo cual se observa también en los resultados del trabajo realizado por Morales *et al*<sup>(39)</sup>, quienes registraron concentraciones máximas de Ca y P en *Lolium perenne*, en el Valle Central de México, de hasta 5,830 mg kg<sup>-1</sup> y 4,400 mg kg<sup>-1</sup> y mínimas de 2,540 mg kg<sup>-1</sup> y 2,400 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, evidenciando la influencia del ambiente sobre la concentración de estos elementos en las gramíneas.

Por el contrario, los contenidos de Cu, Mg, K y Na de LL mostraron diferencias ( $P>0.05$ ) entre los ranchos estudiados (Cuadro 3), posiblemente, por la capacidad de las arbóreas de almacenar mayor cantidad de minerales y de extraerlos de horizontes más profundos del suelo<sup>(40,41)</sup>.

**Cuadro 3:** Efectos de rancho ganadero en la concentración mineral de leucaena y pasto Tanzania en el sistema silvopastoril intensivo ( $\text{mg kg}^{-1}$ )

<b>Leucaena</b>				
<b>Mineral</b>	<b>El Vivero</b>	<b>Los Huarinches</b>	<b>EEM</b>	<b>Requerimiento<sup>x</sup></b>
Cobre	6.8 <sup>b</sup>	5.39 <sup>a</sup>	0.38	10 – 11
Fierro	96.3 <sup>a</sup>	91.2 <sup>a</sup>	5.7	12 – 18
Zinc	17.1 <sup>a</sup>	18.3 <sup>a</sup>	0.49	43 – 55
Calcio	12,257 <sup>a</sup>	10,908 <sup>a</sup>	830	5,700 – 6,700
Magnesio	2,943 <sup>a</sup>	2,075 <sup>b</sup>	122.5	1,800 – 2,100
Potasio	18,560 <sup>a</sup>	13,984 <sup>b</sup>	1,490	11,000 – 11,900
Sodio	3,452 <sup>b</sup>	5,604 <sup>a</sup>	421.9	2,000 – 2,200
Fósforo	2,542 <sup>a</sup>	2,630 <sup>a</sup>	85.6	3,200 – 3,700
Ca:P	4.46 <sup>a</sup>	4.41 <sup>a</sup>	0.044	1.5 – 2 <sup>w</sup>
<b>Tanzania</b>				
Cu, $\text{mg kg}^{-1}$	5.8 <sup>a</sup>	5.5 <sup>a</sup>	0.22	10 – 11
Fe, $\text{mg kg}^{-1}$	82.7 <sup>a</sup>	86.7 <sup>a</sup>	3.62	12 – 18
Zn, $\text{mg kg}^{-1}$	25.4 <sup>a</sup>	23.4 <sup>a</sup>	1.29	43 – 55
Ca, $\text{mg kg}^{-1}$	2,784 <sup>b</sup>	3,894 <sup>a</sup>	135.4	5,700 – 6,700
Mg, $\text{mg kg}^{-1}$	1,925 <sup>a</sup>	1,839 <sup>a</sup>	92.7	1,800 – 2,100
K, $\text{mg kg}^{-1}$	9,340 <sup>a</sup>	10,386 <sup>a</sup>	964	11,000 – 11,900
Na, $\text{mg kg}^{-1}$	2,806 <sup>a</sup>	2,095 <sup>b</sup>	155.8	2,000 – 2,200
P, $\text{mg kg}^{-1}$	2,540 <sup>a</sup>	2,822 <sup>b</sup>	70.6	3,200 – 3,700
Ca:P	1.14 <sup>b</sup>	1.37 <sup>a</sup>	0.06	1.5 – 2 <sup>w</sup>

EEM = Error estándar de la media; <sup>x(36)</sup>, <sup>w(37)</sup>.

<sup>ab</sup> Medias en la misma fila con distinta literal muestran diferencias ( $P<0.05$ ).

Las concentraciones de Ca para LL son superiores a las obtenidas en otro trabajo<sup>(42)</sup> en la Huasteca Potosina de México, donde se registraron niveles de Ca de  $2,300 \text{ mg kg}^{-1}$ , y una relación Ca:P de 0.81; la concentración superior de Ca en LL obtenida en el presente estudio condujo al incremento en la relación Ca:P (4.5), la cual es superior a la recomendada.

La época del año influyó en el contenido mineral de leucaena y pasto Tanzania, de manera tal que los niveles de Cu durante el periodo seco fueron menores que en la estación de lluviosa, esto fue contrario a lo reportado por otros investigadores<sup>(43)</sup> quienes encontraron mayor concentración de Cu en la época seca ( $9.4 \text{ mg kg}^{-1}$ ) en comparación con la época de lluvias ( $8.94 \text{ mg kg}^{-1}$ ) en la región cálido húmeda de Pangasinan, Filipinas; no obstante, para

el pasto Tanzania hubo menor contenido de Cu en la época fría. Potasio registró mayor concentración en leucaena, durante la estación fría, mientras que la gramínea mostró concentraciones máximas de K de 14,823 mg kg<sup>-1</sup> durante la época de lluvias, en concordancia con las fluctuaciones del ese elemento en el suelo. Las concentraciones de Mg y P en LL fueron similares ( $P>0.05$ ) entre las tres estaciones del año, contrario a lo observado en el pasto Tanzania, en la que estos elementos registraron mayor concentración en la época de frío, mientras que los niveles de Fe, K y Ca, en LL fueron mayores que en pasto estrella durante la estación fría, probablemente, por la reducción de la tasa de crecimiento de la leguminosa en la estación fresca del año (Cuadro 4).

**Cuadro 4:** Efecto de la época del año en la concentración mineral (mg kg<sup>-1</sup>) de leucaena y pasto Tanzania en el sistema silvopastoril intensivo

Época	Cu	Zn	Fe	Ca	Mg	K	Na	P	Ca:P				
<b>Leucaena</b>													
Frío	6.8 <sup>a</sup>	21.1 <sup>a</sup>	114.4 <sup>a</sup>	13,094 <sup>a</sup>	2,758 <sup>a</sup>	20,927 <sup>a</sup>	3,196 <sup>b</sup>	2,759 <sup>a</sup>	4.8 <sup>a</sup>				
Lluvias	7.4 <sup>a</sup>	16.3 <sup>b</sup>	86.2 <sup>b</sup>	9,673 <sup>a</sup>	2,295 <sup>a</sup>	15,782 <sup>b</sup>	3,000 <sup>b</sup>	2,411 <sup>a</sup>	3.88 <sup>a</sup>				
Secas	4 <sup>b</sup>	16.4 <sup>b</sup>	80.4 <sup>b</sup>	11,979 <sup>a</sup>	2,476 <sup>a</sup>	12,106 <sup>b</sup>	7,521 <sup>a</sup>	2,588 <sup>a</sup>	4.9 <sup>a</sup>				
EEM	0.47	0.60	7.04	1,025	151.2	1,839	520.7	105.6	0.54				
<b>Tanzania</b>													
Frío	4.2 <sup>c</sup>	24.3 <sup>a</sup>	100.9 <sup>a</sup>	4,245 <sup>a</sup>	2,799 <sup>a</sup>	5,590 <sup>b</sup>	3,501 <sup>a</sup>	2,891 <sup>a</sup>	1.47 <sup>a</sup>				
Lluvias	6.9 <sup>a</sup>	22.2 <sup>a</sup>	67.2 <sup>b</sup>	2,363 <sup>c</sup>	1,091 <sup>c</sup>	14,823 <sup>a</sup>	1,769 <sup>b</sup>	2,584 <sup>b</sup>	0.95 <sup>b</sup>				
Secas	5.9 <sup>b</sup>	26.6 <sup>a</sup>	86.1 <sup>a</sup>	3,409 <sup>b</sup>	1,755 <sup>b</sup>	9,176 <sup>b</sup>	2,081 <sup>b</sup>	2,570 <sup>b</sup>	1.34 <sup>a</sup>				
EEM	0.27	1.6	4.4	164.8	112.8	1,173	189.7	86	0.07				
Req.	10	–	43 - 55	12 – 18	5,700	–	1,800 –	11,000	–	2,000 –	3,200	–	1.5 – 2 <sup>w</sup>
	11				6,700		2,100	11,900		2,200		3,700	

EEM = Error estándar de la media; Req= requerimiento <sup>(36) w(37)</sup>.

<sup>abc</sup> Medias en la misma columna con distinta literal muestran diferencias ( $P<0.05$ ).

## Suero sanguíneo

No hubo efecto de la interacción entre ranchos ganaderos y etapa fisiológica del animal ( $P>0.05$ ) en la concentración de 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, y Na, ya que la concentración de Zn en el suero sanguíneo de las vacas fue menor a la de las crías, y menor en la época lluviosa y seca que en la época fría; del mismo modo, los niveles de Ca fueron inferiores en la época seca, aunque las concentraciones séricas de Ca se mantuvieron dentro de los rangos adecuados. La triple interacción (rancho ganadero, época del año y etapa fisiológica del animal) fue importante ( $P<0.05$ ) para las concentraciones séricas de Cu y Mg. 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 el suero sanguíneo (Cuadro 5).

**Cuadro 5:** Concentración mineral ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en suero sanguíneo de vacas y crías pastando en el sistema silvopastoril intensivo en dos ranchos, en tres épocas del año

	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Fe</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>K</b>	<b>Na</b>	<b>P</b>	<b>Ca:P</b>
Rancho									
Huarinches	0.6 <sup>a</sup>	0.7 <sup>a</sup>	2.7 <sup>a</sup>	110.1 <sup>a</sup>	19.7 <sup>a</sup>	238.3 <sup>a</sup>	2791 <sup>a</sup>	45.4 <sup>a</sup>	2.6 <sup>a</sup>
El Vivero	0.5 <sup>b</sup>	0.6 <sup>b</sup>	1.7 <sup>b</sup>	109.0 <sup>a</sup>	19.6 <sup>a</sup>	196.7 <sup>b</sup>	2371 <sup>b</sup>	43.2 <sup>a</sup>	2.5 <sup>a</sup>
EEM	0.01	0.018	0.15	2.42	0.50	6.88	62.24	1.01	0.06
Época									
Frío	0.6 <sup>a</sup>	0.7 <sup>a</sup>	2.2 <sup>a</sup>	130.1 <sup>a</sup>	19.7 <sup>a</sup>	231.4 <sup>a</sup>	2575 <sup>a</sup>	39.2 <sup>b</sup>	3.4 <sup>a</sup>
Lluvias	0.5 <sup>a</sup>	0.6 <sup>a</sup>	2.4 <sup>a</sup>	100.7 <sup>b</sup>	20.9 <sup>a</sup>	192.4 <sup>b</sup>	2741 <sup>a</sup>	48.8 <sup>a</sup>	2.1 <sup>b</sup>
Secas	0.5 <sup>b</sup>	0.6 <sup>a</sup>	2.1 <sup>a</sup>	97.8 <sup>b</sup>	18.5 <sup>b</sup>	228.6 <sup>a</sup>	2427 <sup>b</sup>	44.8 <sup>a</sup>	2.2 <sup>b</sup>
EEM	0.02	0.21	0.20	3.07	0.6	8.5	77.6	1.23	0.08
Etapa fisiológica									
Cría	0.6 <sup>a</sup>	0.7 <sup>a</sup>	2.5 <sup>a</sup>	108.7 <sup>a</sup>	17.4 <sup>b</sup>	219.1 <sup>a</sup>	2634 <sup>a</sup>	49.2 <sup>a</sup>	2.2 <sup>b</sup>
Vaca	0.5 <sup>b</sup>	0.6 <sup>b</sup>	2.0 <sup>b</sup>	110.4 <sup>a</sup>	21.9 <sup>a</sup>	215.8 <sup>a</sup>	2528 <sup>a</sup>	39.4 <sup>b</sup>	2.9 <sup>a</sup>
EEM	0.017	0.019	0.16	2.50	0.51	7.03	63.50	1.03	0.06
Rango 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	**	**	***	NS	NS	**	***	NS	NS
Época	*	NS	NS	***	*	**	***	***	***
Etapa	***	***	*	NS	***	NS	NS	***	***
R*S	NS	**	***	***	NS	***	**	NS	**
R*E	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
S*E	NS	**	NS	**	NS	NS	*	NS	NS
R*S*E	**	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS

EEM = Error estándar de la media; Rango adecuado<sup>(26)</sup>; R=rancho, S=época, E=etapa fisiológica.

<sup>ab</sup> Medias en la misma columna con distinta literal muestran diferencias ( $P < 0.05$ ). NS= No significativo; \* = ( $P < 0.05$ ); \*\* = ( $P < 0.01$ ); \* = ( $P < 0.001$ ).

En ninguno de los ranchos evaluados, el nivel de Cu y Zn es suficiente para cubrir lo recomendado<sup>(27)</sup>, lo cual es congruente con los bajos niveles de estos elementos minerales en el forraje, tanto en leucaena como en pasto Tanzania. Asimismo, la concentración sérica de P en los animales del rancho El Vivero está por abajo del nivel recomendado<sup>(27)</sup>, tanto para bovinos adultos como para los jóvenes (45-60 y 60- 90  $\text{mg kg}^{-1}$ , respectivamente); mientras que en el rancho Los Huarinches, el contenido sérico de P apenas cubre el mínimo recomendado para bovinos adultos, lo cual es consistente con el bajo contenido de P en las dos especies forrajeras del sistema silvopastoril intensivo. Los niveles séricos de Na son también deficientes en los animales de ambos ranchos, a pesar de que, tanto en leucaena como en Tanzania, este elemento se encuentra en un rango aceptable para cubrir el requerimiento de vacas en producción<sup>(27)</sup>.

A pesar de que la época del año influyó en la concentración sérica de casi todos los minerales las concentraciones de Zn, Cu y Na, no alcanzaron el mínimo adecuado, contrario a lo que ocurrió con el P durante la época de lluvias, alcanzando apenas el nivel mínimo requerido. Las concentraciones de Ca y Mg en las tres épocas del año 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 pasto 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 ambos ranchos. Según algunos reportes<sup>(26)</sup>, 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.

Tanto las crías como las 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<sup>-1</sup><sup>(24)</sup>. Del mismo modo, las crías presentaron ligera deficiencia de Mg, probablemente debido a que la leche tiene un contenido bajo de este elemento (0.1 a 0.2 g L<sup>-1</sup><sup>(6)</sup>); mientras que, para ambos tipos de animal, la concentración de K en suero sanguíneo fue superior a los rangos adecuados.

## Conclusiones e implicaciones

Las variaciones en la concentración mineral en el suelo de los ranchos evaluados, en relación con la época del año, puede originarse por el manejo de cada sistema de producción y por las condiciones ambientales, por lo que la similitud de la temperatura y precipitación no es suficiente para explicar las diferencias de concentraciones de los minerales evaluados, por lo que, se recomienda realizar estudios adicionales. Con excepción de Fe, las concentraciones de los minerales disueltos en el agua de bebida no satisfacen los requerimientos de los animales. La asociación de *Leucaena leucocephala* y *Megathyrsus maximus* var. Tanzania se complementan y contribuyen a mejorar el balance mineral de la dieta de las vacas lecheras, no obstante, diferencias edáficas de cada rancho ganadero, la especie forrajera y época del año son los factores responsables de las deficiencias de Cu, Zn y P de los animales. Los niveles séricos de Ca, Mg y relación Ca:P fueron adecuados, mientras que los niveles de Cu, Zn, Na y P, son menores a las concentraciones normales. No obstante, la concentración sérica de K está por encima del rango normal. Debido a que las concentraciones Cu, Zn, Na y P en el forraje y en el suero sanguíneo son bajas, es conveniente implementar estrategias de suplementación mineral al ganado que permitan incrementar la disponibilidad de estos

minerales en la dieta, para cubrir los requerimientos para mantenimiento y producción de las vacas lecheras y sus crías.

**Literatura citada:**

1. Krishnamurthy L, Ávila M. Agroforestería básica. México D.F. México: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Serie de textos básicos No. 3;1999.
2. McDowell LR. Feeding minerals to cattle on pasture. *Anim Feed Sci Technol* 1996;60(3-4):247-271.
3. Mayland HF, Hankins JL. Mineral imbalances and animal health: A management puzzle. *Wild Range Exp Stn*. 2001;73:441-446.
4. McDowell LR. Minerals in animal and human nutrition. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier.; 2003.
5. Gaviria X, Sossa C, Montoya C, Chará J, Lopera J, Córdoba C, *et al.* 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. 2012:661-665.
6. Suttle N. Mineral nutrition of livestock. 4th ed. Wallingford: CABI Publishing; 2010.
7. Givens D, Owen E, Axford RF, Omed HM. Forage evaluation in ruminant nutrition. Wallingford: CABI Publishing; 2000.
8. Prasad CS, Arora S, Prasad T, Chabra A, Ibrahim MNM. Mineral requirements and straw feeding systems. In: Handbook for straw feeding systems, principles and applications with emphasis on Indian livestock production. New Delhi: ICAR.: 1995;225-238.
9. Huerta OF, Maldonado TR, Álvarez-Sánchez E. Evaluación nutrimental del suelo y limón mexicano con manejo convencional y silvopastoril, Apatzingán, Michoacán. En: Álvarez-Sánchez E, Vásquez-Alarcón A. editores. Agroforestería para la conservación de los recursos naturales y productividad. Chapingo: Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo. 2018.
10. INEGI. Anuario estadístico y geográfico de Michoacán de Ocampo. 2017.
11. INEGI. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Apatzingán, Michoacán de Ocampo 9. 2009.
12. INEGI. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Tepalcatepec, Michoacán de Ocampo 9. 2009.

13. Bacab-Pérez HM, Solorio-Sánchez FJ. Oferta y consumo de forraje y producción de leche en ganado doble propósito manejado en sistemas silvopastoriles en Tepalcatepec, Michoacán. *Trop Subtrop Agroec* 2011;13:271-278.
14. Fick K, McDowell R, Miles LR, Wilkinson PH, Funk NS, Conrad JD, Valdivia R. *Methods of mineral analysis for plant and animal tissues*. 2nd ed. Gainesville: University of Florida; 1979.
15. SAS (Statistical Analysis System). *SAS/STAT User's Guide (Release 6.4)*. SAS Inst. 2017. Cary, NC, USA.
16. Jackson RS. Site selection and climate. En: *Wine Science*. USA: Academic Press; 2014: 307-346.
17. Altieri MA. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agric Ecosyst Environ* 1999;74:19–31.
18. Dollinger J, Jose S. Agroforestry for soil health. *Agrofor Systems* 2018;92(2):213–219.
19. Kabata-Pendias A, Pendias H. *Trace elements in soils and plants*. 3rd ed. CRC press; 2001.
20. Maldonado TR, Etchevers JD, Alcántar GG, Rodríguez AJ, Colinas LMT. Estado nutrimental del limón mexicano en suelos calcimorficos. *Terra* 2001;19(2):163–174.
21. Roca N, Pazos MS, Bech J. Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso y zinc en suelos del NO Argentino. *Ciencia del suelo*. 2007;25(1):31-42.
22. McCauley A, Jones C, Jacobsen J. Soil pH and organic matter. *Nutrient management module*. 2009;8(2):1-12.
23. Havlin JL. Fertility. In: *Encyclopedia of soils in the environment*. USA: Academic Press; 2013:10 -19.
24. Roberts AHC. Seasonal variation in soil tests and nutrient of pasture at two sites in Taranaki, N Z J Exp Agr 1987;(3):283-294.
25. Hooda PS. *Trace elements in soils*. USA: Wiley; 2010.
26. Rayment G. Total potassium to exchangeable potassium ratios as a guide to sustainable soil Potassium supply. *Commun Soil Sci Plant Anal* 2013;44:113–119.
27. Marx ES, JH, Stevens RG. *Soil test interpretation guide*. Oregon State Univ Ext Serv. 1999;(3):1–8.

28. Crespo G, Rodríguez I, Lok S. Contribution to the study of soil fertility and its relation to pastures and forages production. Cuban J Agric Sci 2015;49(2):2011-2019.
29. Rodríguez I, Crespo G, Torres V, Calero B, Morales A, Otero L, Hernández L, Fraga S, Santillán B. Integral evaluation and soil/plant compound in a dairy unit with silvopastoral system in Havana province, Cuba. Cuban J Agric Sci 2008;42(4):403-410.
30. Puls R. Mineral levels in animal health, diagnosis data. Clearbook: Sherpa international; 1988.
31. McDowell LR. Nutrition of grazing ruminants in warm climates. Orlando, Florida: Academic press, Inc; 1985.
32. Minson DJ. Forage in ruminant nutrition. USA: Academic press, Inc; 1990.
33. Blair GJ, Lithgow KB, Orchard PW. The effects of pH and calcium on the growth of *Leucaena leucocephala* in an oxisol and ultisol soil. Plant Soil 1988;214:209-214.
34. Aye PA, Adegun MK. Chemical composition and some functional properties of Moringa, Leucaena and Gliricidia leaf meals. Agric Biol J North Am 2013;4(1):71-77.
35. García M, Wencomo G, Gonzáles C, Medina R, Cova O. Caracterización de diez cultivares forrajeros de *Leucaea leucocephala* basada en la composición química y la degradabilidad. Rev MVZ Córdoba 2008;13(2):1294-303.
36. Kambashi B, Picron P, Boudry C, Théwis A, Kiatoko H, Bindelle J. Nutritive value of tropical forage plants fed to pigs in the Western provinces of the Democratic Republic of the Congo. Anim Feed Sci Technol 2014;191:47-56.
37. NRC. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th ed. Washington, DC: National Academic Press; 2001.
38. Fisher LJ, Waldern DE. Minerals and vitamins for dairy cows. Ottawa: Agriculture Canada Publication; 1988.
39. Morales AE, Domínguez VI, González-Ronquillo M, Jaramillo EG, Castelán OO, Pescador SN, Huerta BM. Diagnóstico mineral en forraje y suero sanguíneo de bovinos lecheros en dos épocas en el Valle Central de México. Tec Pecu Méx 2007;45(3):329-344.
40. Aguirre-Medina JF, Gálvez-López AL, Ibarra-Puón JC. Crecimiento de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit biofertilizada con hongos micorrízicos arbusculares en vivero. Rev Chapingo Ser Cienc For Amb 2018;24(1):49-58.

41. Domínguez MT, Marañón T, Murillo JM, Schulin R, Robinson BH. Trace element accumulation in woody plants of the Guadiamar Valley, SW Spain: A large-scale phytomanagement case study. *Environ Pollut* 2008;152:50–59.
42. Santiago FI, Lara BA, Miranda RL, Huerta BM, Krishnamurthy L, Muñoz-González JC. Composición química y mineral de leucaena asociada con pasto estrella durante la estación de lluvias. *Rev Mex Cienc Agr. Pub Esp* 2016;(16):3173–83.
43. Uemura E, Hayashuda M, Orden EA, Fujihara T. Tree legume supplementation improves mineral status of grazing does and growth performance of their kids. *Livestock Res Rural Develop* 2014;26(3).