



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA
Y ZOOTECNIA**

**EFFECTO DE LA ÉPOCA DEL AÑO Y DE LA EDAD EN EL
CONTENIDO MINERAL EN FORRAJES TROPICALES EN
MEDELLÍN, VERACRUZ**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
MÉDICO VETERINARIO ZOOTECNISTA**

PRESENTA:

EDUARDO DURÁN MARTÍNEZ

**Asesores: MC Francisco Alejandro Castrejón Pineda
MSc René Rosiles Martínez**

México, D.F. 2014





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, que me ha brindado su apoyo en todos mis proyectos, por su comprensión, cariño y amor. Licha, Pa' siempre les agradeceré a ustedes primero; porque son los pilares sobre los cuales, con base en sus ejemplos y valores, he construido lo que ahora soy. Carnal, a ti te agradezco que siempre estuviste para llevarme y ahora gracias a eso puedo conquistar esta meta.

A mi Abuela, mis primos, tíos, sobrinos que tanto me han apoyado y porque siempre han estado junto a mí cuando los he necesitado.

Les agradezco a mis tutores MC Francisco Alejandro Castrejón Pineda y MSc René Rosiles Martínez por la confianza y el apoyo incondicional que siempre me han brindado, al igual que la paciencia que me tuvieron.

La presente tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, corrigiendo, dando ánimo, acompañando en los momentos difíciles y en los momentos de felicidad. Es difícil mencionar a todos los que estuvieron conmigo durante la carrera, la realización de la tesis y que me han brindado su amistad: Abraham, Beatríz, Dr. Lucas Melgarejo, Dr. Luis Corona, Dr. Humberto Troncoso, Elizabeth, Gustavo, Ingrid, Jonathan, Karen, Lumajez, Manuel, Martín, Nicolás, Noemí, Pablo, Patricia Manzanero, Patricia Olivos, QA Águeda García, Rafael, Sandra, Sara, Tere, Valeria, Verónica, Victor y todos aquellos con los que he compartido buenos momentos.

Siempre estaré agradecido con todos y cada uno de ustedes. De nueva cuenta ¡MUCHAS GRACIAS! por el apoyo brindado y por permitirme ser parte de sus vidas.

Esta tesis se realizó como parte del proyecto **PAPIIT IN215310**.

CONTENIDO

Página

RESUMEN.....	6
I. INTRODUCCIÓN.....	7
II. REVISIÓN DE LITERATURA.	9
1. Los elementos minerales en la relación suelo-agua-planta-animal	9
1.1 Suelo.....	9
1.1.1. Textura del suelo.....	10
1.1.2. pH.....	11
1.1.2.1 pH ácido.....	11
1.1.2.2. pH alcalino.....	11
1.1.3. Microorganismos en el suelo	12
1.2. Agua	12
1.3. Planta (Las gramíneas como forraje para el ganado).....	13
1.3.1. Mombasa.....	15
1.3.2. Estrella de África	17
1.3.3. Pasto Insurgente	19
1.3.4. Pasto Mulato	21
1.3.5. Chetumal	24
1.3.6. Angleton.....	26
2. Los elementos minerales	28
2.1. En las plantas	28
2.1.1. Elementos minerales esenciales.....	28
2.1.2. Micronutrientes minerales	29
2.2. En los animales	31
2.2.1. Macronutrientes minerales	33
2.2.2. Micronutrientes minerales	33
2.3. Funciones de los elementos minerales presentes en plantas y animales.	33
2.3.1. Calcio (Ca).....	33

2.3.2. Fósforo (P)	34
2.3.3. Magnesio (Mg)	36
2.3.4. Sodio (Na).....	37
2.3.5. Cobre (Cu)	38
2.3.6. Hierro (Fe)	39
2.3.7. Manganeso (Mn).....	40
2.3.8. Zinc (Zn)	41
III. JUSTIFICACIÓN	42
IV. OBJETIVOS	43
V. HIPÓTESIS	43
VI. MATERIAL Y MÉTODOS.....	44
1. Ubicación.....	44
2. Especies vegetales	45
3. Área experimental.....	45
3.1 Siembra	46
3.2 Fertilización	46
3.3 Parcelas	46
3.4 Duración del trabajo.....	47
4. Épocas del año	47
5. Toma de muestras	47
6. Análisis de laboratorio.....	48
6.1 Preparación de la muestra	48
7. Análisis estadístico	49
VII RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
1. Calcio.....	51

2. Fósforo	55
3. Magnesio	58
4. Sodio	61
5. Cobre	64
6. Hierro	68
7. Manganeso	72
8. Zinc	76
VIII. CONCLUSIONES.	80
IX. LITERATURA CITADA	81

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Nutrimientos esenciales, mostrando elemento, símbolo y formas primarias usadas por las plantas.....	31
Cuadro 2. Resultados análisis de suelo, CE La Posta. INIFAP Medellín, Veracruz	45
Cuadro 3. Efecto de la interacción (especie*época del año* edad de rebrote) sobre el contenido de Ca (%).....	52
Cuadro 4. Efectos principales de especie, época y edad de rebrote sobre el contenido de Ca (%)	52
Cuadro 5. Necesidades de Ca (%) en las gramíneas y rumiantes domésticos.....	54
Cuadro 6. Efecto de la interacción (especie*época del año* edad de rebrote) sobre el contenido de P (%)	56
Cuadro 7. Efectos principales de especie, época y edad de rebrote sobre el contenido de P (%).....	56
Cuadro 8. Necesidades de P (%) en las gramíneas y rumiantes domésticos.....	57
Cuadro 9. Efecto de la interacción (especie*época del año* edad de rebrote) sobre el contenido de Mg (%).....	59
Cuadro 10. Efectos principales de especie, época y edad de rebrote sobre el contenido de Mg (%).....	59
Cuadro 11. Necesidades de Mg (%) en las gramíneas y rumiantes domésticos.....	60
Cuadro 12. Efecto de la interacción (especie*época del año* edad de rebrote) sobre el contenido de Na (%).....	62
Cuadro 13. Efectos principales de especie, época y edad de rebrote sobre el contenido de Na (%).....	62

Cuadro 14. Necesidades de Na (%) en las gramíneas y rumiantes domésticos.....	63
Cuadro 15. Efecto de la interacción (especie*época del año* edad de rebrote) sobre el contenido de Cu (%).....	65
Cuadro 16. Efectos principales de especie, época y edad de rebrote sobre el contenido de Cu (%).....	65
Cuadro 17. Necesidades de Cu (%) en las gramíneas y rumiantes domésticos.....	67
Cuadro 18. Efecto de la interacción (especie*época del año* edad de rebrote) sobre el contenido de Fe (%).....	69
Cuadro 19. Efectos principales de especie, época y edad de rebrote sobre el contenido de Fe (%).....	69
Cuadro 20. Necesidades de Fe (%) en las gramíneas y rumiantes domésticos.....	71
Cuadro 21. Efecto de la interacción (especie*época del año* edad de rebrote) sobre el contenido de Mn (%).....	73
Cuadro 22. Efectos principales de especie, época y edad de rebrote sobre el contenido de Mn (%).....	73
Cuadro 23. Necesidades de Mn (%) en las gramíneas y rumiantes domésticos.....	75
Cuadro 24. Efecto de la interacción (especie*época del año* edad de rebrote) sobre el contenido de Zn (%).....	77
Cuadro 25. Efectos principales de especie, época y edad de rebrote sobre el contenido de Zn (%).....	77
Cuadro 26. Necesidades de Zn (%) en las gramíneas y rumiantes domésticos.....	79

RESUMEN

Con el objetivo de analizar el efecto de la época y de la edad sobre el contenido de elementos minerales en gramíneas: *Panicum maximum* var Mombasa, *Cynodon plectostachyus*, *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria brizantha* x *Brachiaria ruziziensis*, *Brachiaria humidicola* y *Dichantium aristatum*, introducidas a Veracruz, se obtuvieron muestras de forraje en el Campo Experimental “La Posta” del INIFAP, en el municipio de Medellín, Ver., México, con un clima Aw1; en diferentes épocas: secas (marzo-mayo), lluvias (junio-octubre) y nortes (noviembre-febrero); con un suelo Arenosol, textura migajón arcillo arenoso > 26 % arcilla; pH de 5.4-5.6 y 2.34 % de materia orgánica. A partir de un diseño de parcelas subdivididas, parcela grande (especie, “esp”), parcela chica (época, “ep”: nortes, lluvias y secas), (edad al corte, “ed”: 21, 28 y 35 días), con tres repeticiones. Previamente a cada parcela se le dio un corte de uniformización y posteriormente se muestreó 1 m² del centro, para cada edad a realizó un corte a 5 cm de altura del suelo. Las frecuencias de corte no se aleatorizaron sino que se arreglaron en un orden ascendente empezando con 21, 28 y 35 días de edad. Las muestras se deshidrataron (55 °C) y se incineró un 1 g de cada muestra a 500 °C durante 16 h; se procesó por una digestión ácida y posteriormente la solución madre se aforó a 25 mL con agua desionizada. Mediante espectrofotometría de absorción atómica se realizó la determinación de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, y Zn, Na mediante emisión atómica y P por fotometría utilizando la técnica con molibdo vanadato. El contenido de los elementos minerales Ca (0.06 – 0.36 %), P (0.16-0.56 %), Mg (0.18-0.88 %), Na (0.04-0.4 %), Cu (1.83 – 8.0 mg/kg de MS), Fe (73.94 – 966.38 mg/kg de MS), Mn (37.9 – 100.24 mg/kg de MS) y Zn (14.05 – 60.71 mg/kg de MS), correspondientes a menor y mayor concentración, respectivamente, mostraron efecto de la interacción esp*ep*ed (P<0.05). El contenido de elementos minerales manifestó variaciones en la concentración debidos a la especie, época y edad al corte, los cuales deben tomarse en cuenta para realizar los ajustes adecuados en la complementación mineral al ganado que se encuentra pastoreando los forrajes introducidos.

I. INTRODUCCIÓN

En México, las zonas de Trópico Húmedo (TH) y sub-húmedo también denominado Trópico Seco (TS) son áreas geográficas con precipitaciones pluviales de medias a altas (TH: 1,000 – 1,400 mm y para el TS: de 800-1,100 mm) y temperaturas cálidas (22-29 °C); se encuentran presentes en los estados de Campeche, Colima, Chiapas, México, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán.¹ Las zonas de TH ocupan una cuarta parte de la superficie nacional, son la gran reserva estratégica de nuestro país para hacer frente a los nuevos retos que impone la realidad nacional e internacional, ya que es en esas regiones donde se concentra más del 70 % del agua disponible del país y tienen una importante potencialidad para la producción de ganado, de bioenergéticos, y el desarrollo de cultivos tropicales.² A su vez, tienen gran potencial para la producción de carne y leche. Aproximadamente la mitad de la producción de carne bovina proviene de las áreas tropicales y subtropicales con un incremento de 200 % en los últimos 40 años, comparada con un 92 % de incremento en la producción mundial.³

Por las características de ubicación y condiciones climáticas el TS (que representa 29 % del territorio nacional), ha sido objeto de incontables esfuerzos para convertirlo en una zona especializada para la producción de carne y leche. Los ganaderos de esta región han intentado mejorar la producción pecuaria mediante la introducción de razas bovinas especializadas; sin embargo, estas demandan alimentos de mayor calidad. Los forrajes nativos, fuente principal de alimentación de los rumiantes son deficientes en el valor nutritivo, por esa razón se introdujeron gramíneas a las zonas tropicales de México, con el fin de obtener una mayor eficiencia productiva. Algunas especies introducidas se adaptaron a las condiciones climáticas del trópico y presentaron mayor rendimiento de biomasa que las especies nativas, sin embargo, no mejoraron mucho en calidad o valor nutritivo, particularmente por ser deficientes en proteína, energía o algunos elementos minerales en su composición, por lo cual hasta el presente continua la búsqueda de más y mejores opciones forrajeras, que respondan a la diversidad con alta calidad para la ganadería, y toleren la incidencia de plagas que afectan la productividad y persistencia de los pastos.

Desde la década de los ochenta, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de México, inició la evaluación de ecotipos de *Panicum* y *Brachiaria*, de manera que se liberaron algunas especies, variedades o híbridos tales como: *P. maximum* var. Mombasa, *B. brizantha* var. Insurgente, *B. decumbens* var. Señal o Chontalpo, *B. humidicola* var. Chetumal, y *B. brizantha* x *B. ruziziensis* var. Mulato, que resultaron sobresalientes en diversos ecosistemas del trópico mexicano.⁴ Actualmente hay establecidas aproximadamente 2.5 millones ha con estas especies, lo que representa 6.5 % del área cubierta por pasto.⁵ La información actual sobre el valor nutritivo de pastos y forrajes se basa en su contenido de proteína, fibra, grasa y ceniza;⁶ sin embargo, poco se conoce acerca del contenido de los diferentes elementos minerales de los pastos introducidos y la variación en la composición mineral que estos presentan ante las diversas condiciones meteorológicas por efecto de época del año, o los cambios en el contenido de elementos minerales debidos a la edad de las especies al corte o pastoreo.⁷

En la producción animal en pastoreo la composición nutritiva del forraje esta en interacción con la utilización por parte del animal.^{8,9,10,11} En los ambientes tropicales la recirculación de los elementos minerales adquiere importancia fundamental, ya que es alto el riesgo de pérdida de los elementos minerales por erosión o lixiviación.^{12,13} En los ecosistemas de pastizal, la interacción es extremadamente frágil y muy difícil de medir, el sobrepastoreo o la quema de praderas puede llevar al ecosistema del pastizal a la incapacidad de reciclar nutrimentos orgánicos e inorgánicos.¹⁴ Por lo anterior se realizó la presente investigación con el objetivo de evaluar el efecto de la interacción de especie, época del año y edad a la cosecha sobre la composición de los principales elementos minerales, en seis gramíneas forrajeras introducidas en Medellín, Veracruz.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

1. Los elementos minerales en la relación suelo-agua-planta-animal

El sistema agua-suelo-planta es tratado como un sistema dinámico continuo, donde el agua se mueve dentro del suelo hacia la superficie radicular de la planta, penetra a las raíces, se mueve en el interior de la planta y sale a la atmósfera través de los estomas, siguiendo una vía en constante descenso de la energía potencial.¹⁵

Los forrajes absorben los elementos minerales esenciales a través de su sistema radicular o en varias formas a través de las hojas. En general, el suelo contiene una gran cantidad de todos los elementos minerales, pero solo un pequeño porcentaje está disponible para la planta. El crecimiento y desarrollo de la planta está relacionada con la concentración y combinación de los nutrimentos minerales disponibles en el suelo.¹⁶ En el suelo la disponibilidad de nutrimentos para la planta está determinada por la forma y propiedad química del elemento, el pH, interacciones con los coloides, actividad microbiana y las condiciones físicas, como la aireación, compactación, temperatura y humedad. Debido a su relativa inmovilidad, las plantas enfrentan desafíos para obtener y satisfacer sus requerimientos básicos de estos nutrimentos. La deficiencia de alguno de estos elementos minerales resulta en un crecimiento deficiente, baja concentración de nutrimentos y retardo en la floración.

La concentración de minerales disponibles en las plantas forrajeras tropicales, depende de factores del suelo, del género, especie, etapa vegetativa de la planta y factores ambientales como la precipitación pluvial, temperatura y la luz.^{16,17,18} En el suelo, los elementos minerales pueden formar parte de las fracciones coloidales o estar en solución.

1.1 Suelo

Es la parte superficial de la corteza terrestre que es capaz de sostener el crecimiento y desarrollo de plantas; mezcla dinámica de materiales inorgánicos, orgánicos, aire y agua.¹⁹ Sin embargo, en la actualidad el recurso suelo tiene un papel mucho más amplio

que el estar sólo relacionado con la agricultura, ya que se le considera como el medio que recicla desechos, que tiene un papel importante dentro del ciclo hidrológico, así como en la ingeniería civil y que es también, el medio para conservar la biodiversidad.²⁰

Constituido por materiales sólidos, fluidos (líquidos y gaseosos) y geles.²¹ Suministra la base sólida para que las plantas puedan fijarse a él, además provee a las plantas el agua y los elementos minerales necesarios para elaborar sus alimentos. Es considerado un recurso natural frágil y no renovable, porque resulta difícil y costoso recuperarlo o, incluso, mejorar sus propiedades después de haber sido erosionado por el agua y el viento o deteriorado física o químicamente. El suelo realiza funciones ambientales, económicas, sociales y culturales que son esenciales para la vida.²²

1.1.1. Textura del suelo

La textura indica las proporciones de partículas de diferente tamaño como: arena muy fina (0.10 – 0.05 mm), limo (0.05 – 0.002 mm) y arcilla (< 0.002 mm), en el suelo.²³ La textura afecta la cantidad de nutrimentos, la cantidad de agua y aire que son retenidos, la velocidad con que el agua penetra y lo atraviesa; así como la facilidad con la que se puede trabajar. Un suelo con alto contenido de arcillas y de materia orgánica retiene mejor los nutrimentos y el agua que un suelo con alta cantidad de arena; las plantas requieren que el agua se almacene en el suelo, entre lluvias o riegos, pero es importante que el exceso de agua se drene y permita la adecuada aireación de las raíces. Conforme el agua se va drenando en suelos arenosos, acarrea nutrimentos, fenómeno conocido como “lixiviación”. Cuando los nutrimentos se lixivian, estos ya no son disponibles para la planta.

Un suelo ideal para el cultivo de forraje contiene proporciones similares de arena, limo y arcilla, y niveles altos de materia orgánica.²³

La textura de los suelos y su contenido de nutrimentos en el estado de Veracruz varía, haciendo a unos más productivos que otros.

1.1.2. pH

El pH del suelo es una medida de su acidez o alcalinidad; los valores extremos no ocurren en los suelos agrícolas. Siendo el pH=7 neutro, la acidez aumenta con los valores de 7 a 4 y la alcalinidad de 7 a 10.²⁴ El pH del suelo es uno de las propiedades más importantes que afectan la disponibilidad de los nutrimentos.²⁵

1.1.2.1 pH ácido

Los elementos primarios para las plantas: Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K^+) tienden a estar menos disponibles en suelos con pH ácido; como sucede en los suelos tropicales, donde disminuye la disponibilidad de estos elementos, porque los cationes H^+ ocupan gran número de los sitios de intercambio, los cuales compiten con los iones metálicos por los sitios de transporte en la raíz.²⁶

Para regular la acidez del suelo y aumentar el pH se puede incorporar cal agrícola y a la vez complementar el Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) para que sean aprovechados por las plantas. A su vez la cal aumenta a un rango deseado de pH de 6.0 a 6.5; donde, los nutrimentos están más disponibles para las plantas, y la población de microorganismos en el suelo, aumenta. Además, también mejora las propiedades físicas del suelo que promueven el movimiento de agua y aire.²⁰

1.1.2.2. pH alcalino

Un problema de mayores proporciones se presenta en los suelos con un pH alcalino pues los nutrimentos y en especial los micronutrimentos minerales están menos disponibles (Figura 1).

Figura 1. Efecto del pH sobre los nutrimentos disponibles para la planta.

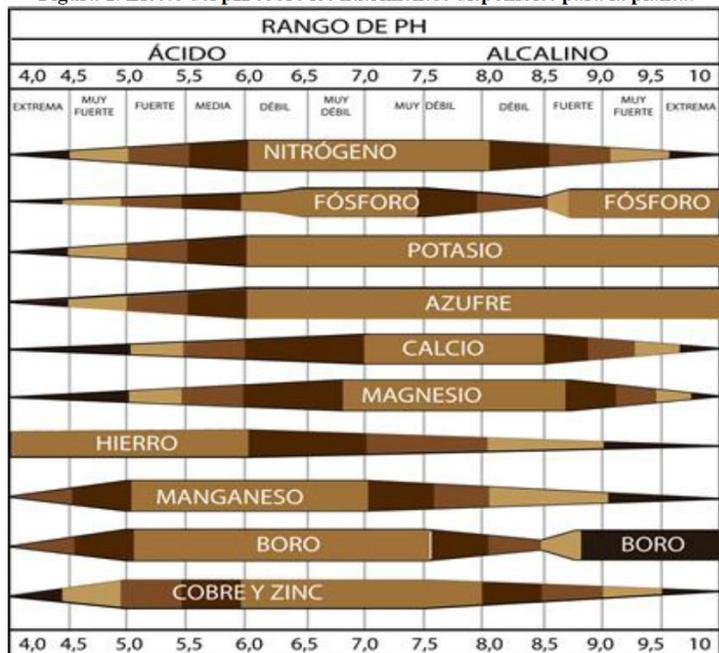


Figura basada en Pratt (1965)

1.1.3. Microorganismos en el suelo

Una condición para que se produzca el crecimiento de una planta, es que el suelo posea cantidades suficientes de sustancias nutritivas, las que se obtienen a partir de la descomposición del humus, por lo cual la presencia de bacterias y hongos, es imprescindible para llevarla a cabo. Los microorganismos del suelo convierten el N y Azufre (S) en formas aprovechables por la planta.²⁷

Los microorganismos en el suelo necesitan desarrollarse en un medio húmedo; por lo tanto, la humificación y la mineralización tendrán lugar en presencia del agua. La cobertura y presencia de los nódulos en las raíces de las plantas permiten un mejor aprovechamiento de la materia orgánica, esto sin contar lo que aportan los animales durante el pastoreo, lo cual incrementa la fertilidad del mismo.²⁸

1.2. Agua

Compuesto imprescindible para el crecimiento normal de las plantas, ya que participa en todos sus procesos fisiológicos.²⁹

Desempeña un papel importante en el movimiento de los minerales, en especial como vehículo para que las plantas los adquieran de la solución del suelo, por ello, existen diferencias en el contenido mineral de los forrajes entre las épocas húmedas y secas. Por otro lado, el agua transporta los minerales de las partes altas a las partes bajas de los suelos en los sitios o regiones de producción, o contribuye a su lixiviación a las zonas profundas de los suelos. Eventualmente, los minerales terminarán en las fuentes de agua, enriquecidas y en algunos casos en concentraciones tóxicas.³⁰

El retorno de los elementos inorgánicos de descomposición a la superficie del suelo, presenta dificultades, ya que los minerales se acumulan en la profundidad de los ríos subterráneos y otros receptáculos interiores, donde forman parte del ciclo sedimentario (carbonatos, silicatos y fosfatos, sobre todo de calcio), que necesita de un proceso de circulación periódica hacia la superficie, como en el caso del P y el S.²⁹

1.3. Planta (Las gramíneas como forraje para el ganado)

Se denomina forraje a cualquier parte comestible no dañina de una planta, o parte de una planta que tiene un valor nutritivo y que está disponible a los animales; cada uno de los forrajes tiene un “valor forrajero”, dado por su valor nutritivo (composición química, consumo, digestibilidad), palatabilidad y productividad.³¹ Las plantas forrajeras se clasifican en: zacates, otras hierbas, especies parecidas a zacates, leguminosas herbáceas, arbustos y arbóreas; se denomina zacate a cualquier miembro de la familia Gramineae o Poaceae.³²

Para Bogdan (1997)³³, la familia Poaceae comprende unas 10,000 especies agrupadas en 500 géneros. Son plantas herbáceas, perennes o anuales, con tallo culmo (hueco en los entrenudos) y muy nudoso, adaptadas a climas tropicales, incluyendo especies mesófilas y hasta acuáticas. A la familia Poaceae pertenecen muchas especies de porte herbáceo, tanto silvestres como cultivadas, de distribución cosmopolita, cuya floración ocurre en primavera³⁴. Los grupos Panicoide (pastos tropicales y subtropicales) y Chloridoide (pastos tropicales cultivados) incluyen las tribus Paniceae o Mellinidae (Panicum, Brachiaria, Digitaria, Melinis, Pennisetum y Cenchrus) y Chlorideae (Chloris y Cynodon), grupos de interés en este estudio.

En las zonas tropicales del país la mayoría de los forrajes destinados para la alimentación del ganado en producción extensiva se obtienen de los pastizales. Desde 1970 en el estado de Veracruz se han establecido cada vez más pastizales mejorados que son los que han alcanzado una condición o un nivel de productividad más alto del que una vez tuvieron, como respuesta a un mejor manejo o a la incorporación de algún vegetal asociado.³⁵

Para llevar a efecto el proceso productivo en la ganadería extensiva de herbívoros en el estado de Veracruz, es común que se cuente con espacios importantes de terreno denominados potrero, pradera y agostadero.³¹ en los cuales predominan los pastizales de tipo natural y cultivados (introducidos). En los de tipo natural, hay especies de gramíneas entre las que destacan *Axonopus* y *Paspalum*, que debido a su marcada estacionalidad y rusticidad tienen un bajo potencial de producción de forraje, aunque estas gramíneas se caracterizan por su capacidad de establecerse en suelos con una deficiente concentración de nutrimentos para soportar y recuperarse del sobre pastoreo, por lo anterior, evitan la erosión del suelo (horizonte O).³⁴

En los pastizales cultivados se encuentran introducidas diversas especies de origen africano (algunas ya naturalizadas) de los géneros: *Dichanthium*, *Digitaria*, *Pennisetum*, *Hyparrhenia*, *Cenchrus*, *Andropogon*, *Panicum*, *Cynodon*, *Brachiaria* y *Bothriochloa* (asiático). Todas han sido seleccionadas por ser eficientes productores de biomasa (tasa de crecimiento mejor que la de los pastos nativos), resistencia a sequías, plagas, inundaciones, buscando las que sean más aceptadas por el ganado, algunas especies presentan elevada concentración de nutrimentos, soportan el pastoreo, algunos han sido seleccionados como forraje de corte que beneficia al productor a la hora de cosechar para henificar y ensilar.

1.3.1. Mombasa



Nombre científico. *Panicum maximum* var Mombasa

Nombre común. Mombasa, Guinea variedad Mombasa.

Origen y distribución. Nativa de África tropical, extendiéndose a los sub-trópicos de Sudáfrica. Se presenta en las orillas de los bosques, matorrales y como pasto pionero que cubre tierras abiertas y en pastizales con pocos árboles (sabanas), donde se desarrolla bajo ellos. Naturalizada en los trópicos, crece naturalmente en potreros, es usual encontrarla cerca o debajo de arbustos y árboles, así como en las orillas de los ríos.³⁶

Descripción morfológica. Pasto perenne de tipo amacollado que mide 0.5 a 1.5 m de altura. Sus hojas miden 35 mm de ancho y su terminación es en punta, su panícula mide de 12 – 40 cm de largo, de colores rojos y morados.^{36,37}

Usos y aplicaciones. Se utiliza tanto para pastoreo como para corte, los cortes o pastoreo deberán efectuarse a una altura de 5 a 20 cm del nivel del suelo.³⁷

Ecología. *Panicum maximum* crece en la mayoría de los suelos que cuenten con un buen drenaje, algunas variedades son tolerantes a suelos con baja fertilidad y mal drenaje, la especie generalmente es intolerante a inundaciones o alta salinidad. Crece en regiones geográficas que cuenten con una precipitación media anual por arriba de 1,000 mm, no tolera los periodos largos de sequía (más de 5 meses). Resistente a inundaciones cortas. Se encuentra presente desde el nivel del mar hasta los 2,000 msnm.^{36,37}

Establecimiento. Se requiere de 2-3 kg de semilla pura viable/ha, se debe sembrar a 1 cm de profundidad y después se debe cubrir la semilla mediante una pasada con ramas.

Fertilización. Durante el establecimiento se puede usar una dosis de fertilización de 50 kg de N/ha y de 20-40 kg de P/ha en suelos de baja fertilidad ha. Una inadecuada dosis de fertilización con N puede llevar al debilitamiento de los tallos y puede ser susceptible a invasión por malezas y ser costosa.³⁶

Compatibilidad con otros pastos. Se puede establecer una mezcla de Mombasa con leguminosas como Manita de Chango (*Centrosema pubescens*), Kudzú (*Pueraria phaseoloides*), Siratro (*Macroptilium atropurpureum*), Soya Forrajera (*Glycine wightii*), Stylo (*Stylosanthes guianensis*), Capitata (*S. capitata*), Macrocephala (*S. macrocephala*) y Leucaena (*Leucaena leucocephala*).³⁶

Plagas y enfermedades. El *Panicum maximum* var Mombasa es tolerante a las enfermedades de las hojas.³⁶

Valor nutricional. El contenido de Proteína Cruda (PC) varía de 6-25%, dependiendo de la edad y del N suministrado. La digestibilidad de la PC fluctúa de 15 a 73 % dependiendo de la edad de la planta y del contenido de PC, la digestibilidad aumentó hasta 71 % cuando la proteína fue superior al 15 %. El contenido de Extracto Etéreo (EE) es de 0.6 %- 2.8 % y el contenido de Fibra Cruda (FC) fluctúa entre 28 y 36 % dependiendo principalmente de la frecuencia de corte y de la edad de la planta. La cantidad de Elementos Libres de Nitrógeno (ELN) varía de 40 a 50 % y al parecer es ligeramente menor que en otros pastos.^{36,37}

Palatabilidad. Tiene fama de ser un pasto muy palatable para cualquier tipo de ganado, por lo menos durante las primeras etapas de crecimiento, o sea unas semanas después del último corte o pastoreo. En las últimas etapas de crecimiento, las hojas no son muy palatables y; los tallos gruesos de las variedades más robustas no son muy apreciados.³⁷

Potencial productivo. Llega a producir de 10 – 30 t de MS/ha, dependiendo de la variedad, las condiciones de crecimiento y de la cantidad de N con el cual fue fertilizado.

Soporta pastoreo intensivo pero solo con el mantenimiento de la fertilidad del suelo y responde bien a la fertilización. Es recomendable retirar a los animales del potrero cuando la altura del pasto sea de 20 cm. Bajo estas condiciones soporta cargas animal de 2.5-4 Unidades Animal (UA)/ha durante la época de lluvias y en la época de sequía solamente de 1.5 – 2 UA/ha.^{36,37}

1.3.2. Estrella de África



Nombre científico. *Cynodon plectostachyus*

Nombre común. Estrella de África, Estrella Africana, Tumba viejos o Tumba hombres.

Origen y distribución. Es nativa del este de África y es común en Etiopía, Tanzania, Kenia y Uganda a lo largo del valle del Rift. Es el pasto más distribuido en México y América Latina. Actualmente se encuentra naturalizado en las regiones tropicales.^{38,40}

Descripción morfológica. Es una planta perenne frondosa de tallos extensos y entrenudos largos, produce estolones de más de 5 metros de largo, hojas exfoliadas e hirsutas. Los tallos florales son ramificados.³⁹

Usos y aplicaciones. Su principal uso es como forraje de pastoreo, sin embargo en algunos lugares la ocupan para corte, henificación y en ocasiones sirve para controlar la erosión.⁴⁰

Ecología. Se adapta muy bien a climas cálidos, se encuentra desde el nivel del mar hasta los 2,000 m.s.n.m., es resistente a sequía, soporta encharcamiento, crece bien en un rango amplio de condiciones físicas y químicas de suelo y de topografía variable.

Establecimiento. Se puede establecer con semilla o material vegetativo, siendo este método el más usual, se utilizan 2 t de material vegetativo maduro / ha. En áreas planas se riegan los estolones y después se le pasa un rastrillo para incorporarlos; en laderas se debe sembrar los estolones regados en curvas de nivel y separados a 1 m.³⁹

Fertilización. Bajo pastoreo continuo o rotacional no deben darse períodos de descanso muy prolongados porque pierde calidad rápidamente, es una especie que extrae muchos nutrimentos del suelo por lo tanto, requiere de fertilizaciones altas de N cuando el uso es muy intensivo (carga animal elevada).^{38,39,40}

Compatibilidad con otros pastos. En sistemas silvopastoriles se puede sembrar junto con *Leucaena leucocephala*

Plagas y enfermedades. Es susceptible a los insectos: mosca pinta o salivazo (*Aeneolamia spp*) y Falso medidor (*Mocis latipes*); a los hongos: Roya (*Puccinia spp*), mancha de la hoja (*Bipolaris cynodontis*, *Bipolaris spicifera* y *Bipolaris sorokiniana*) y durante la época de lluvias es susceptible a Pudrición Basal (*Rhizoctonia solani*) y Pudrición de la Raíz (*Fusarium spp*).³⁹

Valor nutricional. Puede tener valores nutricionales similares o menores a otras gramíneas presentes en el mismo periodo y área. El contenido de PC es de 6 hasta 15 % y en cuanto a su Digestibilidad In Vitro de la Materia Seca (DIVMS) es de 40 hasta 70 %.⁴⁰

Palatabilidad. Es bien aceptado por el ganado.

Potencial productivo. En suelos fértiles o con niveles altos de fertilización produce de 20 a 30 t de MS/ha/año.^{38,39}

1.3.3. Pasto Insurgente



Nombre científico. *Brachiaria brizantha*

Nombres comunes. Insurgente, Brizantha, Pasto Alambre o Brachiaria.

Origen y distribución. Es originaria de África tropical, distribuida en todos los países tropicales, actualmente se encuentra a lo largo del trópico húmedo y sub-húmedo mexicano.⁴¹

Descripción morfológica. Entre las variedades de esta especie existen materiales de diferentes hábitos de crecimiento; pueden ser plantas erectas y rastreras. Las hojas pueden presentar o no pubescencias. Es una especie perenne, que presenta macollas vigorosas, de crecimiento erecto o semi erecto, con tallos que alcanzan hasta 1.2 m de altura. Las raíces son profundas, lo que le permite sobrevivir bien durante períodos prolongados de sequía.⁴² Los nudos pueden ser poco o nada pubescentes, de color morado. Las láminas son verdes y largos, de 20 a 75 cm de longitud y de 0.8 a 2.4 cm en la parte más ancha; pueden ser lineales o lanceolados, adelgazando hacia el ápice, con los bordes de color blanco a morado y fuertemente dentados. Se manifiestan lisos o pubescentes generalmente hacia la base. La inflorescencia es en forma de panícula, de 34 a 87 cm de longitud. Algunas plantas se propagan por rizomas y otras por estolones.⁴³

Usos y aplicaciones. Esta especie de gramínea se puede utilizar como forraje para pastoreo o también se puede cosechar y henificar.⁴⁴

Ecología. Posee un amplio margen de crecimiento con respecto a la altura sobre el nivel del mar; se encuentra presente desde el nivel del mar hasta los 1,800 msnm, requiere de una precipitación pluvial media anual mínima de 1,200 mm (800 a 1,500 mm).⁴⁴ Logra alcanzar su máximo desarrollo en presencia de un suelo con una fertilidad de media a alta y con un pH de 4.0-8.0, también mencionan que tolera condiciones ácidas, de baja fertilidad y una gran variedad de texturas de suelos. Su temperatura óptima de crecimiento va de los 30 a 35 °C, sin embargo su crecimiento no se ve severamente afectado en la época de nortes.^{41,42,43}

Establecimiento. Se requiere de 3 a 4 kg de semilla escarificada por ha, también se puede sembrar mediante material vegetativo. La profundidad de la siembra debe ser máximo 2 cm. Durante la época de secas su crecimiento no se ve afectado, se debe evitar el sobrepastoreo⁴¹

Fertilización. Investigadores del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) han descrito a esta especie como la que mejor desempeño presentó en condiciones deficientes de N y P, sin embargo su calidad nutricia aumenta considerablemente con una dosis de fertilización de 25 kg de N/ha.⁴³

Compatibilidad con otras especies. En algunos países han mezclado diferentes variedades de brachiarias (*B. humidicola* y *B. dictyoneura*) obteniendo híbridos con buenos resultados. Se puede establecer un potrero junto con algunas especies de leguminosas como son: maní o cacahuete forrajero (*Arachis spp*), Pega-pega (*Desmodium heterocarpon subsp ovalifolium*), centrosema (*Centrosema molle*), *Stylosanthes* (*Stylosanthes spp*), trébol de sabana (*Alysicarpus vaginalis*), leucaena (*Leucaena leucocephala*), kudzú (*Pueraria phaseoloides*) y *desmodium* (*Desmodium intortum*).⁴³

Plagas y enfermedades. *B. brizantha* es la variedad más resistente de las brachiarias a salivazo (*Aeneolamia spp*), resistente a la hormiga arriera o trozadora o cortadora (*Atta spp.* y *Acromyrmex spp*).⁴⁴

Valor nutricional. Depende básicamente de la fertilidad del suelo, dosis de fertilización y edad de rebrote. El contenido de PC es de 7 a 16 % y de 51 a 75 % la DIVMS, siendo el 75 % a las dos semanas de rebrote y 55 % a las 12 semanas.⁴¹

Palatabilidad. Es aceptada por los animales en pastoreo, siendo ligeramente más palatable que *B. decumbens*.

Potencial productivo. Presenta alta producción de forraje en un rango amplio de ecosistemas y suelos. La producción anual varía entre 8 y 20 t de MS/ha y soporta un pastoreo intensivo con una carga animal elevada. Los contenidos de proteína en praderas bien manejadas están entre 7 – 14 %, y la digestibilidad entre 55 – 70 %. La producción animal en praderas de Toledo asociado con leguminosa y bajo pastoreo alterno, y carga de 3UA/ha, produce ganancias de 500 a 750 g/animal/día, tanto en invierno como en verano. Anualmente puede producir entre 180 y 280 kg de carne por animal y entre 540 y 840 kg de carne por ha.^{41,42,43}

1.3.4. Pasto Mulato



Nombre científico. *Brachiaria brizantha* x *Brachiaria ruziziensis*

Nombre común. Mulato o Brachiaria híbrido.

Origen y distribución. El Pasto Mulato fue el primer híbrido del género *Brachiaria* obtenido por el programa de mejoramiento genético del CIAT. Proveniente del cruce No. 625 (*Brachiaria ruziziensis* clon 44-6 x *Brachiaria brizantha* CIAT 6297), realizado en 1988

por el programa de pastos tropicales del CIAT. Se ha distribuido ampliamente a través del trópico húmedo en el continente americano.⁴⁵

Descripción morfológica. Gramínea perenne de crecimiento amacollado, semi-erecto, decumbente y estolonífero, que le provee de una alta capacidad de establecimiento. Sus hojas son de forma lineales y lanceoladas de color verde oscuro y llegan a medir de 35 a 40 cm de largo y de 2.5 a 3 mm de ancho, en ambas superficies de la hoja (abaxial y adaxial) presentan una alta densidad de pubescencias, incluso el tallo también las presenta. La altura de la planta varía de 90 a 100 cm.⁴⁶ La inflorescencia es una panícula de 12 cm de largo con 4 a 6 racimos que miden 6 cm de longitud. Su floración es tardía presentándose en el mes de octubre, su inflorescencia es una panícula de hasta 40 cm de longitud, con 4 a 7 racimos con doble hilera de espiguillas, con un promedio de 42 espiguillas, de 2.4 mm de ancho y 6.2 mm de longitud. Presenta un mecanismo de rebrote por yemas basales o corona radical, buena capacidad para emitir estolones que enraízan formando nuevas plantas permitiéndole competir con la vegetación nativa.^{46,47}

Usos y aplicaciones. Se usa principalmente para establecer potreros para pastoreo (debido a su alta resistencia al sobrepastoreo) o como forraje de corte.⁴⁷

Ecología. El pasto Mulato se adapta a condiciones de trópico húmedo y trópico sub-húmedo. Con alturas de 0 hasta 1,800 msnm y una precipitación pluvial media anual de 1,000 a 3,500 mm.⁴⁵ Requiere de suelos con un buen drenaje y con una fertilidad de mediana a alta, pero puede llegar a crecer en suelos infértiles, se adapta a suelos con pH ácido hasta alcalino (4.5 – 8.0). Resistente a sequías (5 a 6 meses) y a las quemadas, se ha observado buena tolerancia a bajas temperaturas y heladas, no tolera inundaciones.⁴⁷

Establecimiento. La densidad de siembra recomendada es de 4-6 kg de semilla pura viable (SPV) por ha. Argel (2003), reporta en Centroamérica y Colombia tasas de siembra que varían de 3 a 5 kg de semilla con pureza y germinación mayores de 80 % con excelentes resultados. La siembra con material vegetativo (cortes de estolones) tiene la ventaja de establecerse rápidamente logrando una cobertura del suelo (85 %) a los dos meses de haberse sembrado, el primer pastoreo a los 3 o 4 meses debe ser con una carga animal baja. Se recomienda sembrarlo por semilla y los métodos de siembra recomendados

son al voleo, líneas o surcos y espeque o punta de machete. La semilla no debe quedar a más de 2 cm de profundidad, para evitar problemas de emergencia. Después de la siembra es posible ya tener una superficie establecida entre 90 a 120 días, con una cobertura superior al 80 %. Se puede establecer en terrenos con preparación convencional (arado y dos pasos de rastra), en terrenos con una pendiente pronunciada se puede realizar una mínima labranza, mediante la aplicación de herbicidas no selectivos.^{45,46}

Fertilización. Mostrará una respuesta significativa en su crecimiento cuando se fertiliza con 150 30 00.⁴⁶

Compatibilidad con otras especies. Se puede sembrar con leguminosas rastreras *Arachis spp*, *Desmodium heterocarpon subsp ovalifolium*, Campanilla o Frijolillo (*Centrosema molle*), *Stylosanthes spp*, *Alysicarpus vaginalis*, *Leucaena leucocephala*, *Pueraria phaseoloides* y *Desmodium intortum*.⁴⁷

Plagas y enfermedades. El pasto Mulato posee una resistencia parcial a la mosca pinta. Actualmente el CIAT está desarrollando una serie de híbridos que cuentan con un alto nivel de antibiosis a la mosca pinta (*Aeneolamia varia*, *A. reducta*, y *Zulia carbonaria*.) Además resiste bien a falso medidor (*Trichoplusia ni*) y gusano soldado (*Spodoptera exigua*), sin embargo, existen informes que es dañado por gusano Falso Medidor (*Mocis latipes*) y soldado (*Spodoptera exigua*).^{45,46}

Se ha reportado la presencia aislada de hongos de los géneros *Fusarium* y *Rhizoctia*, los cuales pueden controlarse con una densidad de pastoreo elevada.

Valor nutricional. Mulato, es un pasto con un alto valor nutritivo. Para 90 días y 168 días de rebrote el contenido de PC fue de 13.1 % y 10.6 %, respectivamente, y una DIVMS de 70 % y 70.6 % respectivamente.⁴⁶

Palatabilidad. Altamente palatable para rumiantes en pastoreo. Sin embargo, en algunas ocasiones las pubescencias limitan la ingesta del pasto en rumiantes que han sido introducidos recientemente a potreros con este pasto.⁴⁵

Toxicidad. No se ha reportado algún tipo de toxicidad causada por este pasto, sin embargo puede provocar fotosensibilización en la piel.⁴⁵

Potencial productivo. La producción de Materia Seca (MS) de este pasto bajo condiciones adecuadas de fertilización y condiciones óptimas de suelo, llega a ser 10-25 % mayor en comparación con otras brachiarias. López et al (2007) registraron en Tabasco reportan rendimientos de hasta 25 t de MS por ha. Animales en pastoreo han obtenido una GDP de 0.9 kg/animal/día.⁴⁶

1.3.5. Chetumal



Nombre científico. *Brachiaria humidicola*

Nombre común. Pasto Humidicola, Chetumal, Braquiaria Dulce, Pasto Dulce

Origen y distribución. Nativa de África, de: Sudan, Etiopía y Namibia. Actualmente establecido en los países tropicales de Latino América y Suramérica, islas del pacífico y en las regiones costeras del norte de Australia.⁴⁸

Descripción morfológica. Gramínea perenne y estolonífera que forma una densa cobertura del suelo, los entrenudos presentan pubescencias y de color verde claro; las vainas de las hojas carecen de pubescencias, las hojas de los tallos tienen de 10 a 30 cm de longitud, presenta un color verde intenso. Las láminas foliares son planas, y de al menos 5 mm de ancho, a menudo más (Chippendall y Crook, 1976). La inflorescencia es terminal y

racimosa. Es diferenciada de otras especies por su hábito rastrero. Su inflorescencia mide de 7 a 12 cm de largo.^{49,50}

Usos y aplicaciones. Frecuentemente sembrado como forraje para pastoreo, a su vez sirve para controlar la erosión, nematodos y malezas.⁵⁰

Ecología. Su época de crecimiento es en verano, se encuentra presente en alturas desde el nivel del mar hasta los 1,000 msnm. Requiere de una precipitación media anual de 600 hasta los 2,800 mm, posee una resistencia moderada a periodos de sequía.⁵¹ Con respecto a los requerimientos de pH del suelo, el pasto Chetumal resiste pH de 3.5 (suelos ácidos infértiles) y un alto contenido de P, sus necesidades de Ca son bajas, tolera suelos con problemas de drenaje. Su temperatura óptima de crecimiento es de 27 °C y no es resistente a heladas. Puede llegar a crecer en predios con sombra pero su máximo potencial productivo lo alcanzará en predios sin sombras.^{49,51}

Establecimiento. Se puede establecer por medio de semilla sexual, utilizando de 2 a 3 kg / ha de semilla escarificada y con más de 50 % de germinación, o por estolones. Se necesita escarificar las semillas (mecánica o químicamente) antes de sembrar.⁴⁸ Cuando se utiliza material vegetativo se requiere de 1 t de estolones/ha. Por el lento crecimiento en el período de establecimiento, se debe tener un manejo cuidadoso en los primeros pastoreos para asegurar su persistencia, el primer pastoreo se debe hacer a los cuatro meses de establecido en forma suave para estimular el macollamiento y enraizamiento de los estolones.⁴⁹

Fertilización. Se adapta bien a suelos infértiles pero tiene una alta respuesta a fertilizaciones con N y P.⁵⁰

Compatibilidad con otras especies. Muestra poca compatibilidad para asociarse con leguminosas como Pueraria, Centrosema y Stylosanthes, pero se asocia muy bien con leguminosas como Desmodium y Arachis.⁵¹

Plagas y enfermedades. Tolerante pero no completamente resistente a salivazo (*Aeneolamia* spp., *Deois* spp. y *Zulia* spp.), se recupera rápido lo que la hace útil para zonas con esta plaga.⁵¹ Altamente resistente a las hormigas cortadoras de hojas (*Acromyrmex* spp.

y *Atta* spp.), pero puede ser severamente atacado por el gusano falso medidor (*Mocis latipes*).⁴⁹

Valor nutricional. A pesar de que sus hojas parecen duras y fibrosas, su valor nutricional es bueno, su contenido de PC va de 5 a 17 %; considerando la baja fertilidad de los suelos en que normalmente crece. Conforme el pasto se va madurando la DIVMS disminuye de 75 a 48 %.⁴⁸

Palatabilidad. Cuando la planta tiene las hojas cortas, debido al pastoreo racional y continuo, será consumido sin rechazo por los bovinos.

Potencial productivo. Su producción llega a ser de 10-13 t de MS/ha/año. Mediante un sistema de pastoreo alternado, los animales llegan a presentar ganancias de 82 kg /animal / año y de 164 kg /ha/año. Cuando esta gramínea se asocia con *Arachis pintoii* la producción de carne fluctúa entre 150 y 180 kg /animal / año y entre 300 y 360 kg /ha año. Los mayores rendimientos están asociados con la mayor cantidad de leguminosa en la mezcla.^{48,49,51}

1.3.6. Angleton



Nombre científico. *Dichanthium aristatum*

Nombres comunes. Carretero, Angleton, Angleton Bluestern, Zacate Angleton Aristado.⁵²

Origen y distribución geográfica. Originaria del sur del continente asiático, se encuentra distribuida en África, India y Madagascar. Se introdujo a nuestro país proveniente del sur de Asia; para el año 2009 la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) reporta su presencia en los estados de Campeche y Nuevo León.⁵²

Descripción morfológica. Gramínea perenne, estolonífera, decumbente, las porciones erectas miden hasta 60 cm y las porciones recostadas son más largas llegando a medir hasta 100 cm, comúnmente ramificada por encima de la base, presenta pubescencias por debajo de las inflorescencias, los nudos también poseen pubescencias. Sus hojas alternas, de color verde divididas en dos porciones; la inferior que envuelve al tallo y es más corta que el entrenudo, se le conoce con el nombre de vaina y la parte superior de la hoja llamada lámina que es larga, angosta y plana. La inflorescencia consiste de entre 2 y 8 espigas, de hasta 7 cm de largo, ubicadas todas juntas formando un verticilo en la punta del tallo.⁵³

Usos y aplicaciones. Su principal uso es como forraje de pastoreo aunque también se puede cortar y henificar.

Ecología. Su crecimiento óptimo se da en suelos francos, con buen drenaje y fértiles, sin embargo puede establecerse en suelos de mediana fertilidad, con pH entre 7.0-8.0. Posee una moderada tolerancia a la sombra. Se encuentra desde el nivel del mar y hasta alturas de los 1200 msnm, su temperatura óptima de crecimiento es de 21 a 27 °C. Requiere precipitación pluvial de 600 a 2,800 mm/año, es resistente a sequías prolongadas.^{53,54}

Establecimiento. Uno de los métodos de siembra puede ser con semilla al voleo y con una densidad de siembra de 3 a 5 kg de SPV/ha. Después de la siembra se deben controlar las malezas y el primer pastoreo se debe realizar a los 6 meses.⁵⁴

Fertilización. La mínima dosis de fertilización es de N: 50, P₂O₅: 45,8, K₂O: 18, MgO: 24,75, SO₄: 44,86 (kg del elemento/ha). En pastoreo rotacional responde bien a fertilización nitrogenada, en mantenimiento se debe aplicar P y K.⁵⁴

Compatibilidad con otras especies. Pastos como: pinhole grass (*Bothriochloa inculpta*), pitilla o climacuna (*Dichanthium annulatum*), Jiribilla (*D. caricosum*), pasto búfalo o pasto colorado (*Panicum coloratum*) y setaria (*Setaria incrassata*).⁵³

Plagas y enfermedades. Susceptible a infestación con hongos (*Puccinia spp*, *Curvularia spp* y *Cerebella andropogonis*). Hospedero intermedio del hongo *Rhizoctonia solani*.⁵²

Valor nutricional. Posee valores bajos de PC 5.9 % pero puede ser aumentada con una fertilización con N.

Palatabilidad. Cuando el forraje tiene pocos días de rebrote es palatable para herbívoros en general, sin embargo conforme madura el forraje, solamente los bovinos lo consumirán.⁵⁴

Potencial productivo. Se obtienen rendimientos de 9 t/ha y bajo condiciones favorables hasta 11 t de MS /ha. En cuanto a la producción animal en el periodo de verano a invierno se obtienen ganancias de 272 kg/ha.⁵⁴

2. Los elementos minerales

2.1. En las plantas

2.1.1. Elementos minerales esenciales

Las plantas mediante la fotosíntesis pueden producir sus propios alimentos y formar tejidos a partir de C, H y N, y tanto el ser humano como los animales, obtienen energía y otros nutrimentos de estas.

Whitehead (2000) estableció criterios para definir a un nutrimento mineral como esencial:

1. La deficiencia de este impide a la planta completar su ciclo vegetativo.

2. Una deficiencia no puede ser reemplazada o compensada por ningún otro elemento con propiedades similares y mediante la suplementación de este elemento se puede prevenir o corregir alguna deficiencia.

3. El elemento está directamente involucrado en el metabolismo de la planta.

Las plantas requieren al menos 16 nutrientes para tener un buen desarrollo y para lograr completar su ciclo de vida. Aquellos utilizados en grandes cantidades: Carbono (C), Hidrógeno (H) y Oxígeno (O) son elementos no-minerales suministrados por el aire y el agua. Conjuntamente con el N la planta absorbe otros 13 elementos en su forma mineral, provenientes del suelo o porque son suministrados mediante fertilización.

Los nutrientes minerales que las plantas utilizan para su crecimiento y desarrollo también se clasifican de acuerdo a las cantidades en que son utilizados por ellas.²⁵

Nutrientes primarios. Dentro de los macronutrientes minerales están los requeridos por las plantas en cantidades relativamente grandes: N, P, y K; estos elementos minerales además son llamados nutrientes primarios y son los más comúnmente suministrados a las plantas por el suelo o a través de fertilizantes.³⁴

Nutrientes secundarios. Los tres nutrientes secundarios, Ca, Mg y S, son requeridos en cantidades menores a los primarios. El Ca es usualmente suministrado en forma de cal y el S con fertilizantes. Algunos contaminantes presentes en la lluvia también pueden suplementar de 11 a 22 kg de N y S por ha al año, dependiendo directamente de la calidad del aire de la región.²⁵

2.1.2. Micronutrientes minerales

Los micronutrientes consisten en siete elementos: Boro (B), Cobre (Cu), Cloro (Cl), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Molibdeno (Mo) y Zinc (Zn). Estos elementos están presentes en muy bajas concentraciones tanto en el suelo como en la planta, pero su rol es igual de importante que el de los nutrientes primarios o secundarios.

Una deficiencia en uno o más de los micronutrientes puede llevar a una severa depresión en el crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo. Algunos suelos no contienen las cantidades suficientes de estos elementos o se encuentran indisponibles por el pH del suelo; para cumplir con los requerimientos de las plantas para un rápido crecimiento y una buena producción. En tales casos, se deben suplementar esos micronutrientes mediante la fertilización y en el caso de la alimentación del ganado, deberán suplementarse en la dieta mediante la adición de sales minerales.²⁵

Así, el suelo aporta trece de los 16 elementos requeridos para la nutrición de las plantas. Estos elementos deben estar disponibles continuamente y en proporciones balanceadas para mantener la fotosíntesis y otros procesos metabólicos de las plantas. Si alguno de estos elementos esenciales está ausente, la productividad de la planta será limitada, o la planta puede detener por completo su crecimiento.²⁵ El principio de los factores limitantes, establece que el nivel de producción no puede ser mayor que la permitida por el más limitante de los factores esenciales del crecimiento vegetal; se aplica tanto en los sistemas de cultivo y en los ecosistemas naturales.³⁴

Los elementos esenciales pueden estar presentes en una o más de estas formas: sólida, líquida o gaseosa. Se tiende a tratar primero con las formas sólidas y líquidas, pero los elementos minerales como el N y el S, bajo ciertas condiciones del suelo pueden estar presentes en forma gaseosa.³⁴

La forma química en la que está presente el elemento tiene una gran influencia sobre la interacción de este con otros elementos y compuestos localizados en el suelo. Los elementos nutrimentales pueden estar presentes cada uno de formas diversas, pero las plantas los necesitan en la forma que se señala en el Cuadro 1.²⁵

Los iones son elementos o grupos de elementos que se producen como partículas cargadas. Los cationes son iones con cargas positivas siendo los principales: NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Fe}^{2,3+}$, $\text{Mn}^{2,4+}$, Zn^{2+} y Cu^{2+} , los aniones tienen una carga negativa entre los que sobresalen: NO_3^- , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , Cl^- , MoO_4^{2-} . Las plantas absorben el N principalmente en forma de NO_3^- , el fósforo en forma de fosfatos (HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-) y el S en forma de sulfato SO_4 .⁵⁵

Cuando el porcentaje de saturación de bases en el suelo es $> 50\%$, se considera que el lugar es “eutrico” es decir fértil, mientras que un porcentaje de saturación de bases $< 50\%$ indica que el suelo es “districo” y presenta problemas de fertilidad.⁵⁵

Como se mencionó anteriormente, al aumentar la acidez del suelo, como sucede en los suelos tropicales, disminuye la disponibilidad de los elementos primarios, porque los cationes H^+ ocupan gran número de los sitios de intercambio, los cuales compiten con los iones metálicos por los sitios de transporte en la raíz; en cambio, aumenta la absorción de los micro minerales Fe, Mn, Zn, Cu principalmente el hierro.⁵⁶

Cuadro I. Nutrientes esenciales, mostrando elemento, símbolo y formas primarias usadas por las plantas.

Elemento	Símbolo	Nombre	Formas primarias usadas por las plantas
ELEMENTOS NO MINERALES			
Carbón	C	Dióxido de carbono	CO_2
Hidrógeno	H	Agua, Hidrógeno	H_2O, H^+
Oxígeno	O	Agua, oxígeno	H_2O, O_2
ELEMENTOS MINERALES			
Nutrientes mayores			
Nitrógeno	N	Amonio, nitrato	NH_4^+, NO_3^-
Fósforo	P	Ácido fosfórico	$HPO_4^{2-}, H_2PO_4^-$
Potasio	K	Potasio	K^+
Nutrientes secundarios			
Calcio	Ca	Calcio	Ca^{2+}
Magnesio	Mg	Magnesio	Mg^{2+}
Azufre	S	Sulfato	SO_4^{2-}
Micronutrientes			
Hierro	Fe	Hierro	Fe^{3+}, Fe^{2+}
Manganeso	Mn	Manganeso	Mn^{2+}
Zinc	Zn	Zinc	Zn^{2+}
Cobre	Cu	Cobre	Cu^{2+}
Boro	B	Ácido bórico	$B(OH)_3^0$
Molibdeno	Mo	Molibdato	MoO_4^{2-}
Cloro	Cl	Cloro	Cl

Basada en Hodges (2011)

2.2. En los animales

Debido a que los elementos inorgánicos grupalmente denominados minerales no se sintetizan en el organismo animal, éstos deben incluirse en la dieta ya que se ha identificado la esencialidad de algunos de ellos para el óptimo desarrollo, crecimiento y reproducción. Una de las formas en que han clasificado los elementos minerales es de acuerdo a las cantidades en que son utilizados o de acuerdo a su concentración en el organismo animal; en macronutrientes minerales y micronutrientes minerales. Los macronutrientes

minerales (elementos mayores), cuyos requerimientos son superiores a 100 partes por millón (ppm) en la dieta, se encuentran formando partes estructurales del cuerpo (huesos, fluidos corporales, etc.), son vitales en: la regulación del equilibrio ácido-básico, la presión osmótica, el potencial eléctrico de la membrana celular y la transmisión nerviosa.

Las necesidades de los micronutrientes minerales (minerales traza) son inferiores a 100 ppm, generalmente se encuentran formando parte de enzimas, como cofactores enzimáticos o como componentes de hormonas.

La eficiencia con que es absorbido un mineral presente en la dieta depende de: la naturaleza química del elemento, de la cantidad presente en la dieta, de la forma en que es ingerido, de los valores en la dieta de otros elementos, sustancias orgánicas, de la salud del animal y del estatus del mineral en el organismo animal. La evaluación de los alimentos como fuente de elementos minerales depende no sólo del contenido o concentración mineral total, también de cuanto puede ser absorbido en el tracto digestivo y utilizado por las células y tejido del animal; el consumo mineral también depende de las necesidades con respecto a la edad, actividad metabólica (gestación, lactación ovoposición, crecimiento, etc.) y especie animal, de la forma química en la que el elemento mineral es ingerido, de las cantidades y proporciones de otros componentes de la dieta con los que interactúa metabólicamente, además de factores ambientales.

El contenido de elementos minerales en los granos y forrajes varía en gran medida, y son precisamente estos últimos los que presentan mayor variación, estas diferencias se deben a la especie de la planta, factores edafológicos, clima, temperatura, época del año, estado de madurez y a la parte de la planta. Por tanto, para realizar la correcta formulación de una dieta se requiere del análisis de elementos minerales de los forrajes que el animal consume, a fin de preparar una complementación adecuada.

Absorción y excreción de los elementos minerales. La vía digestiva es la fuente principal de entrada de los elementos minerales al metabolismo animal. El aporte de los elementos minerales debe satisfacer el requerimiento, pero una cantidad adicional de uno u otro podrán incrementar los requerimientos de un tercero; esto ocasionado algunas veces

por simple competencia por transportadores y otras por interacción metabólica; también puede provocar intoxicaciones.³⁴

Los nutrimentos minerales presentes en el organismo animal se clasifican de la siguiente manera:

2.2.1. Macronutrimentos minerales

Estos son: Calcio (Ca) Fósforo (P) Magnesio (Mg) Sodio (Na)
 Cloro (Cl) Potasio (K) Azufre (S)

2.2.2. Micronutrimentos minerales

Estos son: Hierro (Fe) Yodo (I) Cobre (Cu)
 Zinc (Zn) Manganeso (Mn) Cobalto (Co)
 Selenio (Se)

2.3. Funciones de los elementos minerales presentes en plantas y animales.

Cada uno de los elementos minerales cumple con una o varias funciones dentro del organismo vegetal y animal, dependiendo de la etapa fisiológica en que estos los requieren.

2.3.1. Calcio (Ca)

En forma de pectato de calcio es componente estructural de la pared celular de las plantas (le confiere rigidez y resistencia) fertilidad de suelos, su presencia es mayor en las hojas. Está involucrado en el crecimiento celular, provee elasticidad y expansión de las paredes celulares y evita que las puntas que continúan creciendo se vuelvan rígidas y frágiles. Este elemento provee normalmente el transporte y retención de otros elementos a través de la planta.^{57,58}

Dentro de la planta el Ca no es translocado, razón por la cual se clasifica también

como uno de los elementos inmóviles; a lo largo del periodo de crecimiento permanece en el tejido más viejo. Las sales cálcicas del ácido fosfatídico participan en el mantenimiento de la estructura y propiedades de las membranas.⁵⁷ Actúa como una base para neutralizar los ácidos orgánicos generados durante el proceso de crecimiento y participa en la translocación de los carbohidratos y la absorción del N. El calcio es activador de la amilasa y la ATPasa.

El contenido de Ca en las gramíneas forrajeras en el trópico es de aproximadamente 4.0 g/kg de MS. Una deficiencia de Ca resulta en un pobre desarrollo del sistema radicular y los signos que se manifiestan en las hojas son muy variados; ya que el Ca es inmóvil las plantas afectadas pueden presentar malformaciones en las hojas jóvenes y un crecimiento terminal anormal. El calcio no se lixivia fácilmente en el suelo, aunque los niveles pueden ser bastante bajos en suelos arenosos.

En los animales se halla en combinación con el fósforo y el magnesio (formando un elemento llamado hidroxiapatita) como elementos mayoritarios de los huesos y de los dientes. Esencial para la coagulación normal de la sangre, necesario para la permeabilidad de las membranas celulares; presente en la contracción muscular, la función nerviosa, regulación del ritmo cardíaco, desempeña papeles importantes en la fisiología (componentes de hormonas, enzimas, equilibrio ácido-base, etc.) y es componente de la leche.²⁵ Cuando el gasto en calcio excede el consumo, el organismo animal extrae calcio de los huesos; si el desbalance continúa, en el ganado lechero recién parido, puede ocurrir una hipocalcemia, manifestándose con disfunciones nerviosas y musculares referidas como “fiebre de leche”¹⁹, también se llegan a presentar otras patologías como, osteomalacia, osteoporosis, raquitismo, etc.

2.3.2. Fósforo (P)

El fósforo es parte esencial de la fotosíntesis; la energía liberada durante el transporte de los electrones es empleada en la formación del ATP (adenosín trifosfato), a partir de ADP (adenosín difosfato) y un grupo fosfato.⁵⁹ El fósforo es componente de los ácidos nucleicos y de los fosfolípidos. Los fosfatos orgánicos como el AMP (adenosin monofosfato), ADP y ATP y los fosfatos de carbohidratos, desempeñan papeles vitales en

el metabolismo de las plantas.⁵⁸

Ya que las funciones primarias del P involucran la regulación de la energía y del crecimiento, la deficiencia afecta el crecimiento y el rendimiento más que a la calidad nutricia. La disponibilidad de P es crítica en etapas tempranas del crecimiento de la planta para el desarrollo radicular (longitud de la raíz, el número de pelos radicales y en general, la cantidad de raíces.⁵⁷

En los pastos tropicales el contenido de fósforo es bajo, de aproximadamente 2.3 g/kg de (MS), mientras que las leguminosas, pueden contener más de 2.7 g/kg de MS. La distribución de fósforo es relativamente uniforme entre los tallos y las hojas, la concentración de P es mayor en las plantas jóvenes, en tejidos en crecimiento, pero conforme aumenta su madurez hay una marcada reducción en toda la planta, ya que el P se mueve a los frutos o semillas.^{25,60}

El P se presenta en la materia viva siempre en forma de ion fosfato soluble (ortofosfato). La absorción de P por la planta principalmente en las formas HPO_4^{2-} y H_2PO_4^- (en diferentes estados de disociación). La forma depende totalmente del pH del suelo, siendo el H_2PO_4^- el más común en suelos ácidos. Otras formas también pueden ser absorbidas por las plantas, pero en cantidades mucho menores. Los factores que afectan la disponibilidad del P dependen de varias condiciones del suelo como lo es la intemperización (la proporción de arcilla, pH del suelo, niveles de P en el suelo, temperatura, compactación, aireación, humedad) y por la presencia de otros nutrientes.

El P en los tallos y las hojas de las plantas se encuentra en pequeñas cantidades (en proporciones de un 0.2 % de su masa aproximadamente y en los animales puede ser hasta el 1 % de su masa). El exceso puede llegar a provocar un desarrollo radicular pobre y también desbalances o deficiencias de otros elementos (Zn, Cu, Fe, etc.).

Es importante en el metabolismo del animal; también es requerido por los microorganismos del rumen para la digestión de la celulosa y la síntesis de proteína microbiana^{5,6}. El P forma ésteres con los ácidos nucleicos (ADN y ARN); es parte del ATP, UDP, GTP, etc. y de otras moléculas que tienen fosfatos (PO_4^4), participa en las membranas

celulares en forma de fosfolípidos que las constituyen; en combinación con el Ca y Mg (hidroxiapatita) forma parte de los huesos y dientes de los animales.⁶¹ Se ha demostrado en equinos que el exceso en el consumo de P causa hiperparatiroidismo nutricional secundario. Una deficiencia de P tiene como consecuencias enanismo, retraso en la madurez, baja en la fertilidad y ganancias diarias de peso (GDP).⁶²

2.3.3. Magnesio (Mg)

El Mg es absorbido por las plantas en su forma iónica (Mg); su papel en el metabolismo vegetal es fundamental ya que aproximadamente del 15 al 20 % del total de Mg se encuentra constituyendo el núcleo de la molécula de clorofila, sin el cual la planta no podría capturar la energía del sol para su crecimiento y desarrollo. También se encuentra asociado a muchas proteínas vegetales.^{57,58}

El Mg es el activador natural de algunas enzimas necesarias para la fotosíntesis, la respiración y la síntesis de ADN, así como las que actúan sobre compuestos fosforilados;⁶³ forma parte de la síntesis de proteínas y las reacciones del fósforo.

El contenido del magnesio en las plantas depende de la especie, del tipo de suelo y de las condiciones climáticas. La concentración de este nutriente en pastos y leguminosas tropicales es en promedio de 3.5 y 2.5 g/kg de MS, respectivamente. Los signos ante una deficiencia de Mg incluyen clorosis intervenal de las hojas bajas. Los bordes de las hojas pueden mostrar una ligera coloración roja o morada.²⁵

Es el tercer elemento más abundante en el organismo animal y los huesos (que son el principal reservorio de Mg); cuando el metabolismo del animal lo requiera el Mg podrá ser movilizado del hueso hacia los tejidos. Su función en el animal es participar en la formación de complejos enzimáticos, en el control nervioso de la contracción muscular, en el metabolismo de la energía (participa en más de 50 reacciones enzimáticas), así como en la fertilidad y en la replicación celular. El Mg extracelular es vital para mantener las funciones de los músculos y la conducción nerviosa.¹⁹ Una deficiencia de este elemento en el organismo animal puede ocasionar hipomagnesemia (niveles bajos de Mg en sangre) la cual siempre está presente en la tetania de los pastos. El K es el factor más importante que

interfiere en la absorción de Mg en el rumen.⁶⁴

Altos niveles de ingesta de Ca y P disminuyen la disponibilidad de Mg en la dieta.⁶⁵

2.3.4. Sodio (Na)

Puede ser esencial para el metabolismo de carbohidratos en algunas plantas. Puede ser sustituido por K según un proceso que está basado en el criterio señalado por Arnon y Stout (1939), el Na ha mostrado ser esencial para ciertas especies de plantas C₄, como lo son los géneros *Atriplex spp*, *Kochia spp*, *Panicum spp* y *Distichlis spp*. En ausencia de Na, estas plantas disminuyen su crecimiento y muestran signos visuales de deficiencia como clorosis y necrosis, o no lograron completar el proceso de floración. En las familias C₄, Amaranthaceae, Chenopodiaceae y Cyperaceae, donde se ha demostrado la esencialidad del Na, es requerido en niveles equivalentes a un micronutriente.⁶⁶

Debido a la similitud química entre Na y K, generalmente se asume que tanto K como Na compiten por sitios de absorción comunes en la raíz. Se ha reportado para algunas plantas C₄; que el Na forma parte de la síntesis de la clorofila. La deficiencia de Na afecta la conversión de piruvato a fosfoenol piruvato (PEP), que tiene lugar en los cloroplastos mesófilos.⁶⁸

La presencia de Na en el medio ambiente y su disponibilidad puede reducir la cantidad de K que la planta requiere para satisfacer sus requerimientos metabólicos básicos. Así, en presencia de Na, los niveles críticos (mínimos) de K pueden ser reducidos.⁶⁷ Independientemente de la concentración de Na, la mayoría de las plantas movilizan pocas cantidades de Na para las funciones reproductivas o de almacenamiento como son las semillas, frutos, almacenamiento en raíces; que comprenden las partes comestibles de muchos cultivos básicos.⁶⁸ Las plantas pueden tolerar concentraciones elevadas de Na.⁶⁹

En los animales normalmente se haya asociado con el cloro en forma de cloruro de sodio (NaCl); es responsable de mantener el nivel del agua dentro del organismo animal; está involucrado en el mantenimiento de la presión osmótica de las células; involucrado en la transmisión de los impulsos nerviosos y la contracción muscular; participa en el mantenimiento del equilibrio ácido-base. Se almacena en cantidades pequeñas que pueden

ser disponibles al metabolismo cuando se requieran.⁶⁸

2.3.5. Cobre (Cu)

El cobre es un elemento constituyente de algunas enzimas metálicas (metaloenzimas) de las plantas, incluyendo la oxidasa del ácido ascórbico, la tirosinasa y la citocromo-oxidasa. Gracias a su capacidad de oxidación reversible (cuproso Cu^{2+} y cúprico Cu^{3+}), este elemento parece actuar como aceptor de electrones y como intermediario en la oxidación directa de sustratos por el oxígeno molecular.⁷⁰

Las deficiencias de Cu afectan la fotosíntesis, respiración, la distribución de carbohidratos, metabolismo de N, síntesis de paredes celulares, producción de semilla y resistencia a enfermedades.¹⁹

El Cu es requerido en pequeñas cantidades (5 a 20 ppm) por el tejido vegetal para un crecimiento normal de las plantas. Mientras que las concentraciones menores a 4 ppm son consideradas deficientes, las concentraciones superiores a las 20 ppm pueden ser tóxicas.⁷¹ La concentración de cobre en forrajes tropicales es aproximadamente de 7.5 y 3.5 mg/kg de MS para pastos y leguminosas, respectivamente. Sin embargo, incrementos en el contenido de molibdeno ocasionan un estado de hipocuprosis.³⁴ El contenido de cobre del forraje no está relacionado con el pH del suelo pero sí con su disponibilidad.⁷²

La deficiencia de Cu se caracteriza por clorosis y necrosis, estos signos ocurren primero en las hojas jóvenes. Una vez absorbido el Cu es prácticamente inmóvil en la planta.⁷³

En los animales, el Cu es un cofactor importante en diferentes sistemas enzimáticos incluyendo aquellos involucrados en la formación de la hemoglobina, absorción y movilización de Fe, metabolismo de tejido conectivo y funciones inmunes. La presencia de Cu en el organismo animal puede estar modificada por diversos antagonistas (Mo, S, Fe y Zn), cuando la ingesta de alguno de estos antagonistas aumenta, puede modificar la absorción de Cu. Los signos de una deficiencia de Cu son: anemia, reducción en la tasa de crecimiento, mal formaciones óseas, despigmentación del pelo, diarrea, reducción en la fertilidad y baja en la función del sistema inmune.⁷⁴

2.3.6. Hierro (Fe)

Es importante en la activación de varios sistemas enzimáticos presentes en las plantas incluyendo fumarato deshidrogenasa, catalasa, oxidasa y citocromo. Participa en la síntesis de clorofila debido a la formación de una ferroproteína como compuesto intermedio, por lo tanto una cantidad deficiente de Fe afecta la producción de clorofila.⁷¹

La ferredoxina es una proteína que actúa como transportadora de electrones en la fosforilación y en la fijación del nitrógeno. Otra proteína parecida a la hemoglobina que contiene hierro, se encuentra en los nódulos de las raíces de las leguminosas.^{58,63,72} Este elemento mineral es constituyente de muchos compuestos orgánicos en las plantas y es esencial para la síntesis de clorofila. Se cree que el Fe está asociado con la síntesis de la proteína cloroplástica. El Fe es parcialmente móvil dentro de la planta.²⁵

La concentración de Fe en pastos tropicales es de 50 mg/kg de MS. La deficiencia de Fe es poco común en suelos ácidos. El Fe y el Mn son elementos antagónicos ya que generalmente la alta concentración de uno de ellos (debido al pH del suelo) puede causar deficiencias en la disponibilidad del otro. En casos severos de deficiencias las hojas pueden tornarse completamente blancas.⁷⁴

Para el organismo animal es un elemento esencial en la estructura de las proteínas involucradas en el transporte y utilización del oxígeno (hemoglobina, mioglobina, citocromos, proteínas Fe-S en la cadena transportadora de electrones. Adicionalmente, junto con otros minerales traza, diversas enzimas contienen o son activadas por Fe. Una deficiencia de hierro se manifiesta, en algunos animales, con una anemia hipocrómica microcítica (por la deficiencia en la producción de hemoglobina), también anorexia, bajas Ganancias Diarias de Peso (GDP), pérdida de peso y mucosas pálidas.⁷² En animales en pastoreo es poco frecuente una deficiencia debido a que las concentraciones de Fe en los forrajes son mayores a los requerimientos de los animales, además de que pueden ingerir Fe a través de la ingesta de agua y suelo.⁷⁴

2.3.7. Manganeso (Mn)

El manganeso activa algunas enzimas transportadoras de fosfato, es componente del centro de reacción del fotosistema II y aumenta el aprovechamiento de P, Ca y Mg,⁵⁸ así mismo activa la reducción de nitrato a amonio.^{34,64} Es un constituyente de algunas enzimas involucradas en la respiración y síntesis de proteína vegetal.⁷²

Las pasturas varían marcadamente en su concentración de manganeso, no obstante, el promedio es de 86 mg/kg de MS. El pH tiene un efecto importante en la disponibilidad del manganeso en el suelo, por tal razón las plantas forrajeras que se desarrollan en los suelos alcalinos tienen menor contenido de este elemento. Debe tomarse en cuenta que en suelos ácidos, la disponibilidad del manganeso para las plantas se incrementa; una intoxicación con Mn generalmente ocurre en un suelo bien drenado con pH menor a 5.5.⁷⁰

Los signos de una deficiencia de Mn incluyen clorosis intervenal con nervaduras de color verde oscuro. Los signos de una intoxicación por Mn, se pueden manifestar en concentraciones superiores a 200 ppm; en la planta son caracterizados por una clorosis marginal y una necrosis, al mismo tiempo que se presenta un arrugamiento o pérdida de la forma de las hojas.^{71,73}

En animales jóvenes el Mn es importante en el crecimiento y formación de los huesos, en animales adultos en el mantenimiento de la una óptima fertilidad. La función del Mn en el metabolismo es como componente de las enzimas piruvato carboxilasa, arginasa, superóxido dismutasa, etc. Los signos de deficiencia incluyen: anormalidades en la formación y crecimiento del sistema óseo, problemas reproductivos en animales adultos (hipogonadismo), abortos, en becerros un bajo peso al nacimiento, ataxia o marcha alterada debido al impedimento en el desarrollo del oído interno.¹⁹ Su deficiencia es rara porque lo puede suplir el Mg, y su toxicidad radica en la competencia por los sitios de unión del Fe.⁷⁴

2.3.8. Zinc (Zn)

El Zn es importante en la nutrición y funciones enzimáticas de las plantas, para la estabilidad de los ribosomas citoplasmáticos, procesos de oxidación, transformación de carbohidratos y síntesis del ácido indolacético.² En plantas y animales, el zinc es el activador específico de la anhidrasa carbónica, enzima que participa en el mecanismo amortiguador de mayor importancia de la célula; el dióxido de carbono formado por la actividad celular se disuelve en los líquidos y se hidrata por acción de la anhidrasa carbónica para dar un protón (hT) y ácido carbónico (H₂CO₃), el cual se disocia en los iones bicarbonato.⁷⁵

La concentración promedio de zinc de las pasturas es de 36 mg/kg de MS, pero los valores pueden variar de 7 a 100 mg/kg de MS. Si los suelos son ácidos y ricos en hierro, la disponibilidad de zinc se reduce y el contenido de este nutriente en las plantas puede ser menor.⁷¹ Las concentraciones de Zn son bajas en suelos arenosos con un pH ácido, como los suelos de las regiones costeras de nuestro país.⁷⁵

Una deficiencia de Zn es causada por tres factores: bajo contenido de este elemento mineral en el suelo, la cantidad de zinc presente en el suelo esté indisponible para las plantas, prácticas de manejo que modifican la disponibilidad o absorción del Zn. La absorción de Zn es deficiente en suelos con alto contenido de P.⁷⁴

En el organismo animal el Zn es un componente esencial en gran número de enzimas metabólicas y sirve para activar a otras. Las enzimas que requieren del Zn están involucradas en el metabolismo de proteínas, ácidos nucleicos y carbohidratos, así como en la función del sistema inmune.¹⁹ Una deficiencia de Zn puede presentar signos como reducción en la ingesta de alimento, tasa de crecimiento y crecimiento testicular, por tanto en la fertilidad tanto en hembras como en machos adultos, así como salivación excesiva, paraqueratosis en cerdos, reducción de la cicatrización de heridas.⁷⁶ La mayoría de los forrajes tienen bajas concentraciones de este nutrimento comparadas con los requerimientos de los animales.⁷⁴

III. JUSTIFICACIÓN

El trópico de México continuará dependiendo de la utilización de los forrajes para satisfacer la demanda de proteína animal. Existen limitaciones climáticas y de suelo que imponen severas restricciones nutricionales a los forrajes producidos en estas regiones; el contenido de elementos minerales en los forrajes tropicales representa una limitante muy importante en los sistemas de producción de rumiantes. El tipo de suelo, las inapropiadas prácticas de fertilización y la utilización de suplementos minerales de baja calidad, determinan en muchas explotaciones ganaderas, deficiencias o desbalances de minerales en la cadena suelo-planta-animal.¹⁶ Debido a que los elementos minerales no se sintetizan en el organismo animal, éstos deben incluirse en la dieta; ya que son requeridos por su importancia para el desarrollo, crecimiento, producción y reproducción. Durante la época de secas la oferta de forrajes es limitada; no obstante en la época de lluvias, a pesar de la abundancia de forraje, su rápido crecimiento está asociado con una disminución de la digestibilidad,¹⁷ en la época de nortes los forrajes detienen parcialmente su crecimiento haciendo más limitada la oferta de nutrimentos. La disponibilidad de nutrimentos sigue un patrón cíclico dependiente de la precipitación pluvial, la deficiencia mineral es generalizada e independiente de la variación de la oferta forrajera.¹⁸ Sin embargo existe un escaso conocimiento sobre el contenido de los diferentes elementos minerales en gramíneas introducidas y adaptadas al trópico, debido a la relación que los factores anteriormente mencionados tienen sobre el reciclamiento de elementos minerales en las gramíneas, es importante analizar los cambios que las diferentes especies forrajeras presentan sobre su contenido mineral. Existen escasos estudios acerca de la cantidad de elementos minerales que algunos forrajes de trópico aportan a la dieta del ganado, mismos que indican que el contenido mineral del forraje por sí solo no puede satisfacer los requerimientos nutrimentales para las diferentes etapas productivas. Sin embargo, no existen estudios que evalúen la concentración de elementos minerales a diferente edad de la planta y época del año, por lo cual se plantea el presente trabajo en el que se analizará el contenido mineral de seis gramíneas forrajeras introducidas al trópico sub-húmedo de Medellín, Veracruz, en tres épocas del año (secas, lluvias y nortes) y tres edades de la planta al corte (21, 28 y 35 días).

IV. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar el efecto de edad al corte (21, 28 y 35 días) y época del año (lluvias, nortes y sequía) sobre el contenido mineral (Ca, P, Na, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn) en seis gramíneas tropicales introducidas a Medellín, Ver.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar el efecto de la edad al corte (21, 28 y 35 días de rebrote) sobre el contenido mineral de las gramíneas introducidas.
2. Determinar el efecto de la época de corte (nortes, lluvias y sequías) sobre el contenido de elementos minerales en las gramíneas introducidas.
3. Evaluar el contenido de elementos minerales en las siguientes especies de gramíneas introducidas: *Panicum maximum* cv mombasa, *Cynodon plectostachyus*, *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria brizantha* x. *Brachiaria ruziziensis* var *Mulato*, *Brachiaria humidicola* y *Dichantium aristatum*.

V. HIPÓTESIS

El contenido de elementos minerales aumenta al incrementar la edad al corte: 21, 28 y 35 días; y la concentración es distinta por efecto de las condiciones climáticas como la época del año: lluvias, nortes y sequía, en 6 especies de gramíneas forrajeras tropicales introducidas en el municipio de Medellín, Veracruz.

VI. MATERIAL Y MÉTODOS

1. Ubicación

El estudio se realizó en dos etapas. La primera en el campo experimental “La Posta” del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en Paso del Toro en el municipio de Medellín, Veracruz. Se localiza en el kilómetro 22.5 de la carretera libre Veracruz-Córdoba, en la coordenada que forman el paralelo 19° 02’ de latitud Norte con el meridiano 96° 08’ de longitud Oeste.

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por Enriqueta García, el clima que predomina en el área de influencia directa de “La Posta” corresponde al intermedio de tipo cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw_1). Según los datos de la estación meteorológica “El Copital”, la estación más cercana a este campo experimental, los promedios de temperaturas media, máxima y mínima son de 25.4, 31.3 y 19.5 °C, respectivamente, con una precipitación pluvial de 1336.8 mm y una evaporación de 1379.5 mm. La altura del sitio es de 16 msnm.

Se realizó un análisis de la concentración de los elementos minerales presentes en el suelo del sitio experimental (Cuadro 2)

Cuadro 2. Resultados análisis de suelo, CE La posta. INIFAP Medellín, Veracruz.

Determinación	Contenido	Clasificación agronómica
Textura	% de arena	61.2
	% de arcilla	26.8
	% de limo	12

Determinación	Contenido
pH	5.35
Materia orgánica	2.34 %
Nitrógeno inorgánico	14 ppm
Fósforo	10.3 ppm
Potasio	190 ppm
Calcio	2225 ppm
Magnesio	598 ppm
Hierro*	51.3 ppm
Cobre*	0.9 ppm
Zinc*	6.4 ppm
Manganeso*	33.2 ppm
*DTPA	

2. Especies vegetales

Las especies de gramíneas a evaluar fueron:

1. Mombasa (*Panicum maximum* var mombasa)
2. Estrella de África (*Cynodon plectostachyus*)
3. Insurgente (*Brachiaria brizantha*)
4. Mulato (*Brachiaria brizantha* x *Brachiaria ruziziensis*)
5. Chetumal o humidicola (*Brachiaria humidicola*)
6. Angleton (*Dichantium aristatum*)

3. Área experimental

La superficie total de terreno utilizada fue de 1 ha. La siembra de las parcelas se realizó al principio de la época de lluvias, alrededor del 15 de Junio del 2006 (previamente estas parcelas fueron utilizadas en diferentes trabajos de investigación a diferentes tiempos), sobre terreno preparado convencionalmente con barbecho, rastra y siembra; en los casos en que se llegó a requerir, también se usó chapeo, arado de subsuelo y doble rastra

o cruzado de tal manera que la cama de siembra garantizara una adecuada distribución de la semilla y las mejores condiciones posibles para el establecimiento de las plantas.

3.1 Siembra

Se realizó a chorrillo al fondo de los surcos previamente marcados a una profundidad no mayor de 2 a 3 cm. Posteriormente la semilla se tapó con rastrillo o ramas no muy pesadas para proteger la semilla y favorecer su germinación sin cubrirla con exceso de suelo.

3.2 Fertilización

Se usó la dosis de 100-50-00, que se refiere a la aplicación en kg/ha, de N, Fósforo (P_2O_5) y Potasio (K_2O), respectivamente. El N se aplicó en forma de urea y el P_2O_5 en forma de superfosfato triple de calcio. Por lo tanto, se usaron 222.22 kg de urea y 111.11 kg de superfosfato triple por ha. La dosis anterior equivale a la aplicación de 278 g de urea y 139 g de superfosfato triple de calcio en los 12.5 m² de cada parcela experimental. La cantidad total de urea se dividió en dos fracciones de igual tamaño, las cuales se aplicaron al principio y a mediados de la época de lluvias. Para el caso del superfosfato triple se realizó una sola aplicación, la dosis completa fue mezclada con la primera fracción de urea.

3.3 Parcelas

En la ha de suelo preparada, las parcelas grandes fueron rectángulos de 2.5 m de ancho por 5 m de largo (12.5 m²). En cada una de estas parcelas se sembraron 4 surcos a lo largo del rectángulo, con una separación entre surcos y entre los bordes de la parcela de 0.5 m. La parcela experimentalmente útil fue de 4.0 m² dentro del rectángulo y con 0.5 m libres a todos los lados para evitar el efecto de orilla. La distancia entre parcelas dentro de una misma hilera fue de 1.0 m, además la distancia entre las hileras y alrededor del jardín fue de 2.0 m.

3.4 Duración del trabajo

Una vez establecidas las parcelas, todas y cada una de las especies en estudio se cosecharon a los 21, 28 y 35 días de rebrote. Esta fase de producción dio inicio con un corte de uniformidad que se llevó a cabo el 15 de Junio del 2007 y duró dos años.

4. Épocas del año

Para este estudio, en función de los valores de evaporación, precipitación pluvial y presencia de vientos del norte, se identificaron tres épocas del año:

- Sequía o seca (15 Febrero y el 14 de Junio), cuando la evaporación es mayor que la precipitación pluvial.
- Lluvias (15 de Junio y el 14 de Octubre), cuando la evaporación es menor que la precipitación pluvial.
- Nortes (15 Octubre y el 14 de Febrero), cuando se tiene la mayor presencia de vientos.

Si durante la época crítica no se acumuló forraje suficiente para ser cortado a cualquiera de las frecuencias mencionadas, entonces se difirió uno o más cortes, según fue la gravedad del caso.

5. Toma de muestras

Para cada época de muestro primero se realizó un corte de uniformización y se realizó la toma de muestra dependiendo el día de corte (21, 28 y 35 días de rebrote). El marco para muestrear en cada frecuencia de corte fue de 1.0 m² y se colocó lo más al centro posible cubriendo los dos surcos centrales. En las especies cespitosas, como Estrella de África y Chetumal, la altura de corte fue a los 5 cm de la superficie del suelo; en las especies semi-amacolladas, como Insurgente y Mulato, la altura de corte fue a los 10 cm y en las amacolladas, como Mombasa, esta altura fue de 20 cm.

La muestra obtenida se pesó, homogenizó y mediante la técnica de cuarteo se obtuvo una submuestra de 500 g. Las muestras se colocaron en bolsas de papel (correctamente identificadas) en las que fueron llevadas al laboratorio para su secado en estufas de aire forzado a 55 °C/48 horas o hasta obtener un peso constante. Se determinó el porcentaje de MS de la muestra.

6. Análisis de laboratorio

Los análisis para cuantificar el contenido mineral de las gramíneas, se realizaron en el laboratorio de Bromatología perteneciente al Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica (DNAB) de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ-UNAM).

6.1 Preparación de la muestra

Se deshidrataron 500 g de la muestra de forraje recolectado en un horno de convección a 55 °C alrededor de 48 h hasta confirmar el peso constante de la muestra. Una vez deshidratado se molió en un molino Thomas Wiley con criba de 1 mm. Se pesó 1 g del forraje y se incineró en crisoles de porcelana previamente identificados, en una mufla a 550 °C durante 16 h. Posteriormente, se pesó en una balanza analítica, al terminar el pesaje, a cada crisol se le adicionaron 15 mL de ácido clorhídrico (1+3) y se realizó una digestión ácida en una parrilla de calentamiento a 250 °C durante 10 minutos. Las muestras se filtraron y aforaron a 25 mL con agua desionizada. Estas soluciones se almacenaron en recipientes de plástico de 60 mL, con tapa de rosca y permanecieron en un anaquel del laboratorio hasta su posterior análisis. La determinación de los elementos minerales se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica (985.35, AOAC, 2005) para: Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn y para Na por el método de emisión atómica. Para ambos métodos se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer TM modelo 3110, Northwalk, E.U.A.), de acuerdo con las condiciones de trabajo especificadas por el fabricante. El P se cuantificó por espectrofotometría de luz Ultra Violeta (UV) visible utilizando la técnica de molibdo vanadato (965.17, AOAC, 2005).

Diseño experimental. El diseño experimental a utilizar fue de parcelas subdivididas, con tres repeticiones: para parcela mayor (especie) y 18 repeticiones para

parcela menor (frecuencia de corte). Cabe aclarar que para evitar efectos nocivos entre alturas del rebrote adyacente, las frecuencias de corte no se aleatorizaron, sino que se arreglaron en un orden ascendente empezando con 21 días en un extremo de la parcela y acabando con 35 días en el extremo opuesto, siempre en el mismo orden.

7. Análisis estadístico

El contenido de los elementos minerales (Ca, P, Na, Mg, Cu, Fe y Mn) en el forraje producido por especie, por época y distinta edad al corte, se analizó estadísticamente usando el paquete SAS (2001) bajo el siguiente modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + X_k + \sigma_{ij} + \lambda_{ik} + \delta_{jk} + \eta_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Observación de la i -ésima especie, cortada a la j -ésima época, en la k -ésima edad de corte.

μ = Media general

α_i = efecto de la i -ésima especie (parcela principal)

β_j = Efecto debido al j -ésima época del año.

X_k = Efecto de la k -ésima edad al corte.

σ_{ij} = Efecto de la interacción especie por época.

λ_{ik} = Efecto de la interacción especie por edad al corte.

δ_{jk} = Efecto de la interacción época por edad al corte.

η_{ijk} = Efecto de la interacción especie por época por edad.

ϵ_{ijkl} = Error experimental

Se asume que el error experimental es de distribución normal, independiente, con media cero y varianza sigma cuadrada. $\epsilon \sim NI(0, \sigma^2)$ La comparación de medias se llevó a

cabo por el método de Tukey y para la edad de corte se utilizaron polinomios ortogonales (Cochran y Cox).

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Calcio

El análisis del contenido de Ca en las gramíneas introducidas al trópico en Medellín, Veracruz, muestra que se registró un efecto ($P < 0.01$) de la interacción especie*época*edad sobre la concentración de este elemento mineral (Cuadro 3). La mayor concentración la presentó el pasto mulato cosechado en la época de nortes con 21 días de edad al corte (0.36 %), en tanto que la menor cantidad (0.06 %) la registró el pasto Chetumal en la época seca a los 28 días de edad de la planta al corte.

El análisis de los efectos principales: especie, época o edad de rebrote, se muestra en el Cuadro 4. En lo que respecta a la especie, sobresale que los pastos Mulato y Mombasa registraron mayor ($P < 0.05$) concentración de Ca comparado con Estrella de África, Insurgente y Carretero los cuales presentaron un contenido similar entre ellos ($P > 0.05$). El pasto Chetumal fue el que registró la menor cantidad de Ca ($P < 0.05$) en las especies estudiadas.

En cuanto a la época, la mayor concentración de Ca, se registró en la época de secas (Cuadro 4) y la menor cantidad ($P < 0.05$) fue para la época de lluvias.

Por edad al corte, las gramíneas evaluadas a los 21 y 28 días de rebrote tuvieron similar cantidad de Ca (0.183 % y 0.181 % respectivamente) y esta fue menor ($P < 0.05$) con una marcada diferencia respecto al contenido de este nutrimento a los 35 días de rebrote (0.206 % Ca); sin embargo, la concentración en ninguna de las edades de rebrote fue suficiente para satisfacer la necesidad de los rumiantes, lo cual se puede apreciar en el Cuadro 5.⁸³ La mayor cantidad de Ca al aumentar la madurez del forraje fue indicada en forrajes de clima templado, al parecer esto es similar en las gramíneas tropicales, al menos en las analizadas en el presente estudio. De acuerdo con un reporte especial publicado por Feedstuffs (1992) las gramíneas de clima templado presentan menor concentración de Ca que las leguminosas como alfalfa (*Medicago sativa*) con 1.41 % y refiriendo para algunas gramíneas como el pasto Orchard (*Dactylis glomerata*) un contenido de Ca de 0.40 %.

Cuadro 3. Efecto de la interacción (especie*época del año*edad de rebrote) sobre el contenido de Ca (%).

Época	Secas			Lluvias			Nortes		
	Días de Rebrote								
	21	28	35	21	28	35	21	28	35
Mombasa	0.28 ^{abcd}	0.20 ^{cdefghijk}	0.23 ^{bcdefgh}	0.22 ^{bcdefghi}	0.22 ^{bcdefghi}	0.26 ^{abcdef}	0.32 ^{abc}	0.21 ^{bcdefghij}	0.32 ^{ab}
E. de África	0.14 ^{ghijkl}	0.12 ^{hijkl}	0.15 ^{efghijkl}	0.21 ^{bcdefghij}	0.15 ^{efghijkl}	0.15 ^{efghijkl}	0.22 ^{bcdefghi}	0.16 ^{defghijkl}	0.21 ^{bcdefghi}
Insurgente	0.23 ^{bcdefgh}	0.17 ^{defghijkl}	0.20 ^{cdefghijk}	0.25 ^{abcdefg}	0.14 ^{ghijkl}	0.15 ^{efghijkl}	0.26 ^{abcde}	0.16 ^{defghijkl}	0.18 ^{defghijk}
Mulato	0.24 ^{abcdefg}	0.23 ^{bcdefghi}	0.23 ^{bcdefgh}	0.23 ^{bcdefgh}	0.19 ^{defghijk}	0.22 ^{bcdefghi}	0.36 ^a	0.23 ^{bcdefgh}	0.20 ^{defghijk}
Chetumal	0.17 ^{defghijkl}	0.06 ¹	0.13 ^{ghijkl}	0.14 ^{efghijkl}	0.09 ^{jkl}	0.10 ^{ijkl}	0.16 ^{defghijkl}	0.08 ^{kl}	0.10 ^{ijkl}
Angleton	0.19 ^{defghijk}	0.15 ^{efghijkl}	0.17 ^{defghijkl}	0.21 ^{bcdefghi}	0.16 ^{defghijkl}	0.17 ^{defghijkl}	0.20 ^{bcdefghij}	0.17 ^{defghijkl}	0.21 ^{bcdefghi}

Especie * Época * Edad (P<0.01)

^{abcd} Medias con distinta literal entre columnas e hileras son diferentes (P<0.05)

Cuadro 4. Efectos principales de especie, época y edad de rebrote sobre el contenido de Ca (%).

Especie	Ca	Época	Ca	Edad (días)	Ca	Efecto Lineal
Mombasa	0.25 ^a	Secas	0.23 ^a	21	0.18 ^b	0.0001
E. de África	0.17 ^b	Lluvias	0.16 ^c	28	0.18 ^b	
Insurgente	0.19 ^b	Nortes	0.19 ^b	35	0.21 ^a	
Mulato	0.24 ^a					
Chetumal	0.12 ^c					
Angleton	0.18 ^b					

Especie * Época * Edad (P<0.01)

^{abc} Medias con distinta literal por columna son diferentes (P <0.05)

Minson (1990), reportó que los pastos tropicales tienen un contenido medio de este elemento de 0.37 % y 0.38 %, Vivas et al (2011)⁷⁷ registraron una concentración de Ca de 0.53 % en el estado de Yucatán, López et al (2007) realizaron un estudio en el estado de Tabasco en el cual obtuvieron una concentración de 0.37 %. Esas cantidades difieren de las registradas en el presente estudio, ya que solamente Mombasa en época de nortes con 21 o 35 días al corte, y Mulato con 21 días en época de nortes obtuvieron un porcentaje de Ca similar al de aquellos investigadores, el resto de los cortes presentaron una concentración inferior.

Al comparar la cantidad de Ca presente en las gramíneas de este estudio con las necesidades para producción de las diferentes especies de rumiantes domésticos (Cuadro 5), se observa que la cantidad reportada (promedio= 0.19 %) solamente es suficiente para satisfacer los requerimientos nutricionales de bovinos en gestación. De igual forma el contenido de Ca no cubre el nivel considerado como crítico en gramíneas. El bajo contenido puede ser atribuible al pH presente en el suelo, el cual hace ligeramente indisponible el Ca para la planta (Figura 1).

Cuadro 5. Necesidades de Ca (%) en las gramíneas y rumiantes domésticos.

Gramíneas	Bovinos de carne¹	Caprinos²	Ovinos²
	6 - 18 meses	Crecimiento (15 - 40 kg)	Crecimiento
	0.41 - 0.37	0.30 - 0.73	0.4 - 0.37
Nivel crítico^o < 0.20	Crecimiento y Finalización	Mantenimiento y Crecimiento	Mantenimiento y Crecimiento
	0.54 - 0.19	0.24 - 0.17	0.21 - 0.25
	Gestación	Lactación simple (40 - 80 kg)	Lactación simple
	0.11 - 0.19	0.40 - 0.26	0.32 - 0.28
	Lactación temprana	Lactación gemelar (40 - 80 kg)	Lactación gemelar
	0.22 - 0.20	0.43 - 0.31	0.42 - 0.32

^o El nivel crítico (o deficiente de los pastos) es la concentración en la cual el crecimiento normal de los forrajes puede afectarse adversamente (Rojas et al., 1993)

¹ Nutrient Requirements of Beef Cattle. NRC, 1996

² Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. NRC, 2007.

2. Fósforo

De acuerdo a los resultados (Cuadro 6) se observa que hubo interacción significativa especie*época*edad sobre el contenido de P de las gramíneas tropicales. El pasto Angleton mostró poseer la mayor concentración de P en la época de lluvias con una edad al corte de 28 días (0.56 %), la menor concentración de P la presentó el Mulato (0.16 %) a los 28 días de rebrote en la época de secas.

El análisis de los efectos principales sobre el contenido de P (Cuadro 7) indica con respecto a la especie que las gramíneas Insurgente, Chetumal y Angleton contienen mayor ($P<0.05$) cantidad de P en comparación con Estrella de África que manifiesta la menor concentración (0.31 %), mientras que el pasto Mulato y Mombasa registran una concentración intermedia.

No hubo efecto de época sobre el contenido de P ($P<0.05$).

En cuanto a la edad de las gramíneas al corte, el contenido de P aumentó al incrementarse esta, el efecto fue lineal ($P<0.01$), la concentración de P fue inferior en las gramíneas cosechadas a los 21 días y similar en las muestras cosechadas a los 28 y 35 días.

De acuerdo con los resultados, todos los pastos presentaron valores deseables, es decir, por arriba de 0.30 %. Estos resultados difieren de lo reportado por diversos autores (McDowell, 1997; Minson, 1990 y López et al. 2007), en el sentido de que generalmente, los pastos tropicales presentan valores críticos o deficientes de P. No obstante, Kawas et al. 2011 obtuvieron un porcentaje de P similar; sin embargo, la mayor concentración se registró durante la época de lluvias, en gramíneas cosechadas en Tamaulipas.

El contenido de P en las gramíneas del presente estudio satisface los requerimientos para producción de las diferentes especies de rumiantes domésticos (NRC 1999, 2007), sin embargo, se observa que la cantidad reportada no es suficiente para cubrir las necesidades de alimentación para animales con alto nivel productivo como son bovinos en crecimiento y hembras en lactación gemelar.

Cuadro 6. Efecto de la interacción (especie*época del año*edad de rebrote) sobre el contenido de P (%).

Época	Secas			Lluvias			Nortes		
	Días de Rebrote								
	21	28	35	21	28	35	21	28	35
Mombasa	0.33 ^{cdefghijk}	0.31 ^{defghijk}	0.23 ^{hijk}	0.39 ^{abcdefghi}	0.47 ^{abcd}	0.39 ^{abcdefghi}	0.39 ^{abcdefghi}	0.39 ^{abcdefghi}	0.34 ^{bcdefghij}
E. de África	0.31 ^{defghijk}	0.25 ^{hijk}	0.40 ^{abcdefghi}	0.30 ^{defghijk}	0.34 ^{bcdefghij}	0.32 ^{cdefghijk}	0.33 ^{cdefghijk}	0.29 ^{efghijk}	0.31 ^{defghijk}
Insurgente	0.35 ^{bcdefghij}	0.28 ^{efghijk}	0.40 ^{defghijk}	0.36 ^{bcdefghij}	0.32 ^{cdefghijk}	0.48 ^{abcd}	0.39 ^{abcdefghi}	0.45 ^{abcde}	0.48 ^{abcd}
Mulato	0.27 ^{fghijk}	0.16 ^k	0.22 ^{ijk}	0.26 ^{ghijk}	0.35 ^{bcdefghij}	0.45 ^{abcdef}	0.44 ^{abcdefg}	0.51 ^{ab}	0.41 ^{abcdefgh}
Chetumal	0.30 ^{defghijk}	0.25 ^{hijk}	0.41 ^{abcdefgh}	0.31 ^{cdefghijk}	0.45 ^{abcde}	0.38 ^{bcdefghi}	0.49 ^{abc}	0.45 ^{abcdef}	0.47 ^{abcd}
Angleton	0.37 ^{bcdefghi}	0.33 ^{bcdefghijk}	0.45 ^{abcde}	0.45 ^{abcde}	0.56 ^a	0.49 ^{abc}	0.41 ^{abcdefgh}	0.15 ^k	0.18 ^{jk}

Especie * Época * Edad (P<0.01)

^{abcde} Medias con distinta literal entre columnas e hileras son diferentes (P<0.05)

Cuadro 7. Efectos principales de especie, época y edad de rebrote sobre el contenido de P (%).

Especie	P	Época	P	Edad (días)	P	Efecto Lineal
Mombasa	0.36 ^{ab}	Secas	0.36 ^a	21	0.31 ^b	<0.0001
E. de África	0.31 ^b	Lluvias	0.35 ^a	28	0.39 ^a	
Insurgente	0.38 ^a	Nortes	0.37 ^a	35	0.38 ^a	
Mulato	0.34 ^{ab}					
Chetumal	0.39 ^a					
Angleton	0.38 ^a					

Especie * Época * Edad (P<0.01)

^{abc} Medias con distinta literal por columna son diferentes (P <0.05)

Cuadro 8. Necesidades de P (%) en las gramíneas y rumiantes domésticos.

Gramíneas	Bovinos de carne¹	Caprinos²	Ovinos²
	6 - 18 meses	Crecimiento (15 - 40 kg)	Crecimiento
	0.28 - 0.18	0.17 - 0.36	0.26 - 0.29
Nivel crítico^o <0.10	Crecimiento y Finalización	Mantenimiento y Crecimiento	Mantenimiento y Crecimiento
	0.22 - 0.08	0.16 - 0.17	0.19 - 0.18
	Gestación	Lactación simple (40 - 80 kg)	Lactación simple
	0.06 - 0.11	0.25 - 0.19	0.28 - 0.27
	Lactación temprana	Lactación gemelar (40 - 80 kg)	Lactación gemelar
	0.14 - 0.12	0.27 - 0.22	0.35 - 0.31

^o El nivel crítico (o deficiente de los pastos) es la concentración en la cual el crecimiento normal de los forrajes puede afectarse adversamente (Rojas et al., 1993)

¹ Nutrient Requirements of Beef Cattle. NRC, 1996

² Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. NRC, 2007.

3. Magnesio

Al analizar las concentraciones de Mg se puede apreciar (Cuadro 9) que hubo efecto ($P<0.05$) de la interacción especie*época*edad. Se obtuvo mayor concentración en el pasto Insurgente a los 28 días de rebrote en la época de secas, mientras que la menor concentración se registró en el pasto Estrella de África a los 21 días al corte en la época seca y a los 35 días de la época de lluvias.

Al examinar los efectos principales (Cuadro 10), se observa que los pastos Mulato e Insurgente poseen la mayor cantidad (0.71-0.69 %) ($P<0.05$); una concentración intermedia de este nutrimento la presentan los pastos Mombasa y Chetumal (0.48-0.49 %) y la menor concentración se registra en los pastos Angleton y Estrella de África (0.32 % y 0.25 %, respectivamente).

En lo que se refiere al efecto de época, la concentración de Mg fue mayor ($P<0.05$) en lluvias y nortes, comparada con la cantidad que se registró en la época de sequía.

En cuanto al efecto de edad al corte (Cuadro 10) este factor tuvo un efecto lineal ($P=0.0104$), la cantidad varió de 0.47 – 0.52 % de Mg y la diferencia fue solamente entre los 35 y 21 días al corte, la concentración a los 28 días fue similar a las otras edades al corte.

Minson (1990) determinó un contenido medio de Mg para pastos tropicales de 0.23 % lo cual difiere de los resultados obtenidos en este estudio, puesto que en todos los pastos la concentración fue mayor. Por otra parte, la concentración de Mg en los pastos del presente estudio es mayor a la que López et al. (2007), registraron en las gramíneas tropicales cosechadas en diferentes suelos de Tabasco. En ese estudio las gramíneas tropicales manifestaron en promedio un contenido de Mg de 0.13 %. En forma similar Kawas et al. (1997) registraron en pasturas tropicales del estado de Tamaulipas concentraciones de Mg (0.12 %). Arizmendi et al. (2003), en gramíneas estudiadas en la Universidad de Florida señalaron una concentración media de Mg 0.20 %. Los valores registrados en el presente estudio cubren en su totalidad los requerimientos nutricionales de rumiantes domésticos en diversas etapas productivas (Cuadro 11).

Cuadro 9. Efecto de la interacción (especie*época del año*edad de rebrote) sobre el contenido de Mg (%).

Época	Secas			Lluvias			Nortes		
	Días de Rebrote								
	21	28	35	21	28	35	21	28	35
Mombasa	0.43 ^{ghijklmnn}	0.39 ^{hijklmnn}	0.45 ^{efghijklmnn}	0.43 ^{ghijklmnn}	0.55 ^{bcdefghijklm}	0.53 ^{bcdefghijklm}	0.55 ^{abcdeghijklm}	0.50 ^{bcdefghijklmnn}	0.49 ^{cdefghijklmnn}
E. de África	0.18 ⁿ	0.32 ^{klmnn}	0.27 ^{klmnn}	0.31 ^{klmnn}	0.25 ^{lmnn}	0.18 ⁿ	0.26 ^{klmnn}	0.23 ^{mn}	0.29 ^{klmnn}
Insurgente	0.67 ^{abcdeghij}	0.88 ^a	0.78 ^{abcd}	0.67 ^{abcdeghij}	0.58 ^{abcdeghijkl}	0.59 ^{abcdeghijkl}	0.53 ^{bcdeghijklm}	0.82 ^{abc}	0.66 ^{abcdeghij}
Mulato	0.54 ^{bcdeghijklm}	0.73 ^{abcdegh}	0.71 ^{abcdegh}	0.54 ^{bcdeghijklm}	0.78 ^{abcde}	0.78 ^{abcde}	0.75 ^{abcde}	0.83 ^{ab}	0.68 ^{abcdegh}
Chetumal	0.38 ^{ijklmnn}	0.40 ^{ghijklmnn}	0.49 ^{defghijklmnn}	0.50 ^{bcdeghijklmnn}	0.53 ^{bcdeghijklm}	0.54 ^{bcdeghijklm}	0.57 ^{abcdeghijkl}	0.54 ^{bcdeghijklm}	0.49 ^{cdefghijklmnn}
Angleton	0.23 ^{mn}	0.25 ^{lmnn}	0.30 ^{klmnn}	0.34 ^{ijklmnn}	0.37 ^{ijklmnn}	0.32 ^{klmnn}	0.29 ^{klmnn}	0.37 ^{ijklmnn}	0.42 ^{efghijklmnn}

Especie * Época * Edad (P<0.01)

^{abcdeghijklmnn} Medias con distinta literal entre columnas e hileras son diferentes (P<0.05)

Cuadro 10. Efectos principales de especie, época y edad de rebrote sobre el contenido de Mg (%).

Especie	Mg	Época	Mg	Edad (días)	Mg	Efecto Lineal
Mombasa	0.48 ^b	Secas	0.45 ^b	21	0.47 ^b	
E. de África	0.25 ^c	Lluvias	0.52 ^a	28	0.49 ^{ab}	0.0104
Insurgente	0.69 ^a	Nortes	0.50 ^a	35	0.52 ^a	
Mulato	0.71 ^a					
Chetumal	0.49 ^b					
Angleton	0.32 ^c					

Especie * Época * Edad (P<0.01)

^{abc} Medias con distinta literal por columna son diferentes (P <0.05)

Cuadro 11. Necesidades de Mg (%) en las gramíneas y rumiantes domésticos.

Gramíneas	Bovinos de carne¹	Caprinos²	Ovinos²
	6 - 18 meses	Crecimiento (15 - 40 kg)	Crecimiento
	0.11 - 0.08	0.05 - 0.09	0.09
Nivel crítico⁰	Crecimiento y Finalización	Mantenimiento y Crecimiento	Mantenimiento y Crecimiento
<0.04	0.10	0.06 - 0.08	0.08 - 0.70
	Gestación	Lactación simple (40 - 80 kg)	Lactación simple
	0.12	0.08 - 0.1	0.1 - 0.12
	Lactación temprana	Lactación gemelar (40 - 80 kg)	Lactación gemelar
	0.20	0.11 - 0.1	0.13 - 0.12

⁰ El nivel crítico (o deficiente de los pastos) es la concentración en la cual el crecimiento normal de los forrajes puede afectarse adversamente (Rojas et al., 1993)

¹ Nutrient Requirements of Beef Cattle. NRC, 1996

² Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. NRC, 2007.

4. Sodio

En los valores registrados en el presente estudio, hubo una interacción especie*época*edad significativa ($P < 0.05$, Cuadro 12) el pasto Estrella de África a los 28 días de edad al corte en la época de secas posee el mayor valor (0.40 %), en tanto que el pasto Mulato a los 21 días de rebrote en la época de secas y a los 35 días de edad de rebrote en la época de lluvias, es el que registra la concentración más baja (0.04 % en ambas ocasiones).

Los efectos principales sobre el contenido de Na (Cuadro 13) en cuanto a la especie, indican una mayor concentración ($P < 0.05$) en el pasto Chetumal y Estrella de África en comparación con el pasto Mombasa; el pasto Angleton registra una concentración similar a los anteriores y los pastos Insurgente y Mulato son los que presentan los valores más bajos.

En cuanto a la época el Na registró mayor cantidad ($P < 0.05$) en lluvias, seguido por la época de nortes y la menor concentración se presentó en la época de secas. Lo anterior obedece a la movilidad del elemento y al hecho que las plantas obtienen los minerales de la solución del suelo, cuando no hay lluvia la cantidad disuelta de elementos minerales es inferior.²⁰

No hubo diferencia significativa en lo que se refiere al contenido de este elemento según la edad al corte ($P < 0.05$) (Cuadro 13).

Kawas et al. (1997) obtuvieron una concentración promedio de este elemento de 0.095 % en gramíneas tropicales de Tamaulipas, la cual fue similar a la registrada en Brachiarias del presente estudio (Insurgente y Mulato), sin embargo, el resto de las gramíneas presentaron una concentración mayor de Na que difiere a la que Minson, McDowell, Underwood y Suttle (2003) obtuvieron en forrajes tropicales; estos investigadores concluyen que los pastos tropicales son deficientes en P y Na. Es importante señalar que la deficiencia de Na en los pastos resulta crítica para el animal, ya que la demanda del animal por este último elemento, es mayor si se toma en cuenta el estrés calórico de los animales en el trópico.

Cuadro 12. Efecto de la interacción (especie*época del año*edad de rebrote) sobre el contenido de Na (%).

Época	Secas			Lluvias			Nortes		
	Días de Rebrote								
	21	28	35	21	28	35	21	28	35
Mombasa	0.08 ^{ghij}	0.11 ^{defghij}	0.15 ^{bcdefghij}	0.14 ^{bcdefghij}	0.18 ^{bcdefghij}	0.19 ^{abcdefghij}	0.09 ^{ghij}	0.33 ^{abc}	0.22 ^{abcdefghij}
E. de África	0.26 ^{abcdefg}	0.40 ^a	0.25 ^{abcdefghi}	0.08 ^{ghij}	0.30 ^{abcd}	0.18 ^{bcdefghij}	0.25 ^{abcdefghij}	0.18 ^{bcdefghij}	0.22 ^{abcdefghij}
Insurgente	0.05 ^{hij}	0.06 ^{ghij}	0.07 ^{ghij}	0.05 ^{ghij}	0.05 ^{hij}	0.06 ^{ghij}	0.07 ^{ghij}	0.05 ^{ij}	0.05 ^{hij}
Mulato	0.04 ^j	0.08 ^{ghij}	0.05 ^{hij}	0.04 ^{ij}	0.07 ^{ghij}	0.04 ^j	0.06 ^{ghij}	0.07 ^{ghij}	0.06 ^{ghij}
Chetumal	0.09 ^{efghij}	0.33 ^{abc}	0.26 ^{abcdefgh}	0.17 ^{bcdefghij}	0.31 ^{abcd}	0.26 ^{abcdefgh}	0.21 ^{abcdefghij}	0.30 ^{abcde}	0.27 ^{abcdef}
Angleton	0.19 ^{abcdefghij}	0.35 ^{ab}	0.24 ^{abcdefghij}	0.11 ^{defghij}	0.33 ^{abc}	0.13 ^{cdefghij}	0.15 ^{bcdefghij}	0.15 ^{bcdefghij}	0.19 ^{bcdefghij}

Especie * Época * Edad (P<0.01)

^{abcdefghij} Medias con distinta literal entre columnas e hileras son diferentes (P<0.05)**Cuadro 13. Efectos principales de especie, época y edad de rebrote sobre el contenido de Na (%).**

Especie	Na	Época	Na	Edad (días)	Na	Efecto Cuadrático
Mombasa	0.16 ^b	Secas	0.12 ^c	21	0.17 ^a	0.1041
E. de África	0.24 ^a	Lluvias	0.20 ^a	28	0.15 ^a	
Insurgente	0.06 ^c	Nortes	0.16 ^b	35	0.16 ^a	
Mulato	0.06 ^c					
Chetumal	0.24 ^a					
Angleton	0.20 ^{ab}					

Especie * Época * Edad (P<0.01)

^{abc} Medias con distinta literal por columna son diferentes (P <0.05)

Con excepción del pasto Insurgente y Mulato, las gramíneas evaluadas en el presente estudio logran satisfacer las necesidades de Na de rumiantes en producción, exceptuando las de bovinos de carne (6-18 meses de edad) (Cuadro 14).

Cuadro 14. Necesidades de Na (%) en las gramíneas y rumiantes domésticos.

Gramíneas	Bovinos de carne ¹	Caprinos ²	Ovinos ²
	6 - 18 meses	Crecimiento (15 - 40 kg)	Crecimiento
	0.47 - 0.46	0.05 - 0.1	0.06
Nivel crítico⁰	Crecimiento y Finalización	Mantenimiento y Crecimiento	Mantenimiento y Crecimiento
No esencial	0.06 - 0.08	0.06 - 0.09	0.05 - 0.04
	Gestación	Lactación simple (40 - 80 kg)	Lactación simple
	0.06 - 0.08	0.07 - 0.09	0.06 - 0.07
	Lactación temprana	Lactación gemelar (40 - 80 kg)	Lactación gemelar
	0.10	0.09	0.07 - 0.06

⁰ El nivel crítico (o deficiente de los pastos) es la concentración en la cual el crecimiento normal de los forrajes puede afectarse adversamente (Rojas et al., 1993)

¹ Nutrient Requirements of Beef Cattle. NRC, 1996

² Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. NRC, 2007.

5. Cobre

Hubo interacción significativa especie*época*edad ($P < 0.05$) sobre el contenido de Cu (Cuadro 15). El mayor contenido de Cu se obtuvo en el pasto Insurgente en la época de secas a los 28 días de rebrote (8 mg/kg de MS). A su vez este mismo forraje fue el que presentó la menor concentración de este nutrimento (1.83 mg/kg de MS) a los 21 días de rebrote en la época de nortes.

El análisis de los efectos principales (Cuadro 16) revela que, en cuanto a especie, el pasto Estrella de África y Angleton son los que poseen mayor ($P < 0.05$) contenido de Cu en comparación con el pasto Insurgente y Chetumal. En forma intermedia el pasto Mulato presenta una concentración similar a los anteriores, mientras que el pasto Mombasa es el que registra la menor concentración de Cu por especie.

En lo que se refiere a la época, no hubo diferencia ($P > 0.05$) en la concentración de Cu debida a este factor. Este resultado es similar al que obtuvieron López et al. (2007), en distintos suelos de Tabasco, no observaron diferencias significativas en los distintos tipos de suelo por época. No obstante, los contenidos de Cu en suelo en las temporadas de nortes y secas (1.54 y 1.81 mg/kg de MS, respectivamente), se situaron por abajo del nivel crítico necesario que indica la FAO (2 mg/kg de MS).

Sin embargo, las plantas tuvieron un comportamiento distinto ya que en el estudio realizado por López et al. (2007), los valores más altos se obtuvieron en la época seca (7.90 mg/kg de MS) y los más bajos en la de nortes (4.57 mg/kg de MS). Al parecer, la precipitación pluvial y las altas temperaturas que se manifiestan en la época de lluvias, desempeñan un papel fundamental para incrementar la disponibilidad del Cu, ya que fue en la época de nortes y sequía cuando se registraron los valores bajos. Por esta razón, las plantas que se desarrollan durante la época de sequía y nortes pueden inducir deficiencias de cobre en el ganado, debido a la baja disponibilidad del elemento para producción de biomasa, aunada a la falta de luz solar ocasionada por la alta incidencia de nubosidad en los nortes, que reduce la eficiencia fotosintética de las plantas y afecta la traslocación de los minerales en ellas.⁸⁴

Cuadro 15. Efecto de la interacción (especie*época del año*edad de rebrote) sobre el contenido de Cu (mg/kg de MS).

Época	Secas			Lluvias			Nortes		
	Días de Rebrote								
	21	28	35	21	28	35	21	28	35
Mombasa	3.03 ^{defghi}	4.25 ^{cdefghi}	1.98 ^{fghi}	2.96 ^{defghi}	3.25 ^{defghi}	2.45 ^{efghi}	3.03 ^{defghi}	2.08 ^{fghi}	2.57 ^{efghi}
E. de África	3.54 ^{defghi}	3.85 ^{defghi}	4.27 ^{cdefghi}	5.60 ^{abcd}	4.09 ^{cdefghi}	4.23 ^{cdefghi}	4.18 ^{cdefghi}	3.44 ^{defghi}	3.51 ^{defghi}
Insurgente	3.50 ^{defghi}	8.00 ^a	3.60 ^{defghi}	4.32 ^{cdefghi}	2.19 ^{fghi}	3.62 ^{defghi}	1.83 ⁱ	1.95 ^{ghi}	2.90 ^{defghi}
Mulato	3.21 ^{defghi}	7.37 ^{ab}	3.23 ^{defghi}	2.54 ^{efghi}	3.49 ^{defghi}	4.93 ^{bcdef}	2.50 ^{efghi}	3.86 ^{defghi}	2.80 ^{defghi}
Chetumal	6.95 ^{abc}	2.71 ^{defghi}	2.93 ^{defghi}	4.83 ^{bcdefgh}	2.85 ^{defghi}	3.18 ^{defghi}	3.53 ^{defghi}	1.88 ^{hi}	3.00 ^{defghi}
Angleton	4.18 ^{cdefghi}	3.25 ^{defghi}	3.34 ^{defghi}	3.63 ^{defghi}	3.46 ^{defghi}	4.85 ^{bcdefg}	3.99 ^{defghi}	4.47 ^{bcdefghi}	5.23 ^{abcde}

Especie * Época * Edad (P<0.01)

^{abcdefghi} Medias con distinta literal entre columnas e hileras son diferentes (P<0.05)**Cuadro 16. Efectos principales de especie, época y edad de rebrote sobre el contenido de Cu (mg/kg de MS).**

Especie	Cu	Época	Cu	Edad (días)	Cu	Efecto Lineal
Mombasa	2.85 ^c	Secas	3.74 ^a	21	4.07 ^a	
E. de África	4.08 ^a	Lluvias	3.70 ^a	28	3.69 ^a	<0.0001
Insurgente	3.55 ^b	Nortes	3.48 ^a	35	3.15 ^b	
Mulato	3.77 ^{ab}					
Chetumal	3.54 ^b					
Angleton	4.03 ^a					

Especie * Época * Edad (P<0.01)

^{abc} Medias con distinta literal por columna son diferentes (P <0.05)

Por otra parte, en la época de lluvias disminuye la concentración del ión cúprico, el cual es el aprovechable por las plantas.^{81,82} Con relación a la edad de rebrote se manifestó un efecto lineal ($P < 0.05$) de disminución de este elemento al aumentar la edad al corte; la concentración a los 21 y 28 días de edad fue similar y disminuyó en las muestras que se cosecharon a los 35 días.

Los resultados del presente estudio difieren con lo reportado por Minson (1990), quien indicó una concentración media de 6.1 mg/kg de MS; de igual forma difieren de los resultados de Torres et al. (2009), que obtuvieron una concentración media de 5.5 mg/kg de MS en gramíneas en el estado de Quintana Roo, y también difieren de los resultados que López et al. (2007), indicaron en gramíneas introducidas al estado de Tabasco. En los estudios realizados por Minson y López se registraron una concentración ligeramente mayor de Cu a la cantidad presente en la mayoría de las gramíneas introducidas en Medellín, Ver., la explicación es debida al hecho de la diferencia en la textura y composición de los suelos en cada sitio experimental, como es explicado por López et al., (2007), en la interacción tipo de suelo con las distintas condiciones meteorológicas de cada época. Los pastos evaluados solamente logran satisfacer los requerimientos de ovinos en mantenimiento (Cuadro 17). Si se considera que el nivel crítico de este elemento es < 4 mg/kg de MS, sólo el pasto Angleton presentó una concentración superior al nivel crítico, por lo que es posible que se presente una situación deficitaria en las gramíneas evaluadas.

Cuadro 17. Necesidades de Cu (mg/kg de MS) en las gramíneas y rumiantes domésticos.

Gramíneas	Bovinos de carne¹	Caprinos²	Ovinos²
	6 - 18 meses	Crecimiento (15 - 40 kg)	Crecimiento
	10 - 9	20.00 - 19.89	4.92 - 4.95
Nivel crítico^o	Crecimiento y Finalización	Mantenimiento y Crecimiento	Mantenimiento y Crecimiento
<4	10	19.89 - 20	3.3 - 2.88
	Gestación	Lactación simple (40 - 80 kg)	Lactación simple
	10	14.58 - 14.89	4.57 - 5.42
	Lactación temprana	Lactación gemelar (40 - 80 kg)	Lactación gemelar
	10	14.56 - 14.91	5.73 - 5.3

^o El nivel crítico (o deficiente de los pastos) es la concentración en la cual el crecimiento normal de los forrajes puede afectarse adversamente (Rojas et al., 1993)

¹ Nutrient Requirements of Beef Cattle. NRC, 1996

² Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. NRC, 2007.

6. Hierro

La interacción de los factores especie*época*edad sobre el contenido de Fe fue significativa ($P<0.05$), (Cuadro 18); el pasto Mombasa fue el que presentó mayor contenido de Fe (966.38 mg/kg de MS), en la época de secas a los 21 días al corte. En tanto que los pastos Estrella de África a los 28 días de cosecha en la época de lluvias y Chetumal a los 28 días al corte en la época de nortes, registraron la menor concentración (73.94 y 75.21 mg/kg de MS, respectivamente).

Los efectos principales sobre el contenido de Fe (Cuadro 19), indicaron con respecto a la especie, una mayor concentración en el pasto Mombasa ($P<0.05$), seguida por Mulato; el pasto Insurgente presentó valores inferiores a los dos anteriores, en tanto que Estrella de África, Chetumal y Angleton son los que registraron valores más bajos.

En cuanto a la época, el Fe presentó una mayor ($P<0.05$) concentración en la época de secas, seguido de la época de nortes y por último lluvias con la menor concentración de Fe registrada. Este comportamiento por época fue similar al que obtuvieron López et al. (2007), en los pastos analizados en Tabasco.

Con respecto a la edad al corte, el efecto fue lineal ($P<0.0001$), la mayor cantidad de Fe se registró a los 21 días de edad; la cantidad menor intermedia se manifestó a 28 días, y la menor concentración se manifestó en el forraje que se cosechó a 35 días (Cuadro 19).

Los forrajes en general, presentaron concentraciones superiores al valor considerado crítico para el crecimiento y producción del forraje (<30 mg/kg de MS); al respecto de la nutrición animal, McDowell y Conrad (1977) consideraron una concentración deseable mayor a >500 mg/kg de MS en forrajes tropicales. Si se considera esta última como requisito mínimo, los pastos del presente estudio se encontraron por debajo de esta concentración, indicando una probable deficiencia.

Cuadro 18. Efecto de la interacción (especie*época del año*edad de rebrote) sobre el contenido de Fe (mg/kg de MS).

Época	Secas			Lluvias			Nortes		
	Días de Rebrote								
	21	28	35	21	28	35	21	28	35
Mombasa	966.38 ^a	687.41 ^{cd}	718.41 ^{bcd}	869.46 ^{ab}	584.15 ^{def}	648.04 ^d	601.92 ^{de}	438.21 ^{fgh}	812.99 ^{abc}
E. de África	211.57 ^{ijklm}	88.88 ^{lm}	181.79 ^{ijklm}	187.14 ^{ijklm}	73.94 ^m	120.90 ^{klm}	148.84 ^{ijklm}	78.08 ^m	159.31 ^{ijklm}
Insurgente	373.30 ^{ghi}	113.17 ^{klm}	238.34 ^{ijkl}	212.88 ^{ijklm}	87.34 ^{lm}	139.88 ^{ijklm}	154.67 ^{ijklm}	93.67 ^{lm}	280.16 ^{hij}
Mulato	482.41 ^{efg}	114.09 ^{klm}	240.89 ^{ijkl}	471.46 ^{efg}	269.97 ^{ijk}	173.66 ^{ijklm}	185.76 ^{ijklm}	112.40 ^{klm}	282.16 ^{hij}
Chetumal	187.06 ^{ijklm}	89.58 ^{lm}	157.83 ^{ijklm}	131.21 ^{ijklm}	107.14 ^{lm}	124.48 ^{ijklm}	134.67 ^{ijklm}	75.21 ^m	217.74 ^{ijklm}
Angleton	139.43 ^{ijklm}	120.69 ^{klm}	200.01 ^{ijklm}	162.68 ^{ijklm}	91.28 ^{lm}	147.81 ^{ijklm}	178.06 ^{ijklm}	84.99 ^{lm}	179.34 ^{ijklm}

Especie * Época * Edad (P<0.01)

^{abcdefghijklm} Medias con distinta literal entre columnas e hileras son diferentes (P<0.05)

Cuadro 19. Efectos principales de especie, época y edad de rebrote sobre el contenido de Fe (mg/kg de MS).

Especie	Fe	Época	Fe	Edad (días)	Fe	Efecto Lineal
Mombasa	703.00 ^a	Secas	327.99 ^a	21	297.57 ^a	
E. de África	138.94 ^d	Lluvias	183.90 ^c	28	262.08 ^b	<0.0001
Insurgente	194.16 ^c	Nortes	282.10 ^b	35	234.34 ^c	
Mulato	259.20 ^b					
Chetumal	141.77 ^d					
Angleton	150.92 ^d					

Especie * Época * Edad (P<0.01)

^{abcd} Medias con distinta literal por columna son diferentes (P <0.05)

Sin embargo, si se compara la cantidad registrada en las gramíneas del presente estudio con las necesidades que indica NRC para diferentes especies rumiantes (Cuadro 20), o las cantidades que López et al. (2007), indican para una condición: deseable (>500 mg/kg de MS), media (101 a 500 mg/kg de MS), marginal (31 a 100 mg/kg de MS) o deficiente (< 30 mg/kg de MS).

El balance resulta favorable para los pastos del presente estudio que registraron en general una concentración bastante mayor a la necesidad de los animales, excepto en algunos casos señalados en el Cuadro 18, por ejemplo, Chetumal en nortes con 28 días de edad al corte, que caen dentro de una concentración marginal, aunque ningún caso deficiente.

En otro estudio realizado por Kawas et al. (1997) en gramíneas de Tamaulipas, obtuvieron valores inferiores (<74.8 y 64.4 mg/kg de MS), a los de la presente investigación, para la época de lluvias y secas, respectivamente. Por su parte Vivas et al. (2011), reportaron concentraciones promedio de 279 mg/kg de MS, en diversos forrajes tropicales, indicaron que esta cantidad es suficiente para satisfacer la necesidad de los rumiantes en pastoreo (Cuadro 20). El pH del suelo en el sitio experimental, fue probablemente el factor definitivo sobre la absorción significativa de Fe por la planta.

Cuadro 20. Necesidades de Fe (mg/kg de MS) en las gramíneas y rumiantes domésticos.

Gramíneas	Bovinos de carne¹	Caprinos²	Ovinos²
	6 - 18 meses	Crecimiento (15 - 40 kg)	Crecimiento
	43 - 13	2.90 - 70.9	51 - 54
Nivel crítico⁰	Crecimiento y Finalización	Mantenimiento y Crecimiento	Mantenimiento y Crecimiento
<30	50	5.00 - 6.99	16.99 - 14.4
	Gestación	Lactación simple (40 - 80 kg)	Lactación simple
	50	9.38 - 10.31	5.71 - 7.34
	Lactación temprana	Lactación gemelar (40 - 80 kg)	Lactación gemelar
	50	13.59 - 11.4	6.29 - 6.48

⁰ El nivel crítico (o deficiente de los pastos) es la concentración en la cual el crecimiento normal de los forrajes puede afectarse adversamente (Rojas et al., 1993)

¹ Nutrient Requirements of Beef Cattle. NRC, 1996

² Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. NRC. 2007.

7. Manganeso

Al analizar las concentraciones de Mn en las gramíneas de este estudio, introducidas a Medellín, Ver., se puede observar que hubo efecto ($P < 0.05$) de la interacción especie*época*edad (Cuadro 21). La mayor cantidad (100.24 mg/kg de MS) se registró en el pasto Insurgente a los 28 días al corte en la época de nortes, en tanto que la menor concentración (37.90 mg/kg de MS), correspondió a Mulato en la época de secas a los 21 días de la planta al corte.

Al analizar los efectos principales (Cuadro 22) se observa que los pastos Insurgente (70.94 mg/kg de MS) y Chetumal (71.25 mg/kg de MS) presentan la mayor cantidad ($P < 0.05$) de este nutrimento, seguidos por con una concentración inferior intermedia que presentaron: Mombasa (68.34 mg/kg de MS), Estrella de África (60.81 mg/kg de MS) y Mulato (57.04 mg/kg de MS), y estos tres registraron una concentración superior al pasto Angleton (50.12 mg/kg de MS) que registró la menor cantidad.

Con respecto a la época ($P < 0.05$) lluvias y nortes no presentan diferencias ($P > 0.05$) en el contenido este elemento mineral; sin embargo, en la época de secas se registra el menor ($P < 0.05$) contenido de Mn. Este comportamiento es distinto al reportado por López et al. (2007), en los pastos provenientes de Tabasco, que presentaron mayor concentración de Mn en la época seca (122.17 mg/kg de MS), probablemente como respuesta al mayor contenido de este elemento en dicha época. Al respecto, Velázquez-Pereyra et al (1997), indican que en la estación seca, los valores de Mn se incrementan en comparación a la temporada de lluvias, debido a que es un elemento que manifiesta procesos rápidos de óxido-reducción por efecto del ambiente: cuando el Mn sufre reducción, se incrementa su disponibilidad y con ello la lixiviación, este efecto puede disminuir la concentración del nutrimento en las plantas en la época de mayor precipitación.

En cuanto a la edad, el contenido de Mn aumentó al incrementarse la edad al corte, el efecto fue lineal ($P < 0.01$); la concentración de Mn de 55.47 mg/kg de MS presentes a los 21 días al corte, se elevó hasta 70.60 mg/kg de MS registradas a los 35 días de edad de la planta al corte.

Cuadro 21. Efecto de la interacción (especie*época del año*edad de rebrote) sobre el contenido de Mn (mg/kg de MS).

Especie	Secas			Lluvias			Nortes		
	Días de Rebrote								
	21	28	35	21	28	35	21	28	35
Mombasa	60.14 ^{cdefghijklm}	54.26 ^{efghijklm}	66.22 ^{bcdefghijklm}	56.33 ^{cdefghijklm}	66.22 ^{bcdefghijklm}	78.47 ^{abcdefg}	75.88 ^{abcdefghi}	78.29 ^{abcdefg}	79.26 ^{abcdef}
E. de África	48.67 ^{hijklm}	51.13 ^{efghijklm}	55.79 ^{defghijklm}	55.45 ^{defghijklm}	55.13 ^{defghijklm}	61.30 ^{cdefghijklm}	70.72 ^{bcdefghijk}	64.62 ^{bcdefghijklm}	84.47 ^{abc}
Insurgente	46.97 ^{ijklm}	76.46 ^{abcdefghi}	71.01 ^{bcdefghijk}	68.60 ^{bcdefghijkl}	68.92 ^{bcdefghijkl}	65.82 ^{bcdefghijklm}	63.50 ^{bcdefghijklm}	100.24 ^a	76.90 ^{abcdefgh}
Mulato	37.90 ^m	63.45 ^{bcdefghijklm}	47.30 ^{ijklm}	50.23 ^{ghijklm}	64.75 ^{bcdefghijklm}	61.57 ^{cdefghijklm}	55.02 ^{defghijklm}	65.60 ^{bcdefghijklm}	67.50 ^{bcdefghijkl}
Chetumal	41.56 ^{lm}	57.59 ^{cdefghijklm}	69.06 ^{bcdefghijkl}	82.32 ^{abcde}	91.73 ^{ab}	62.01 ^{cdefghijklm}	71.77 ^{bcdefghij}	83.30 ^{abcd}	81.89 ^{abcde}
Angleton	40.62 ^{lm}	48.24 ^{ijklm}	62.14 ^{cdefghijklm}	44.77 ^{ijklm}	50.39 ^{ghijklm}	53.04 ^{efghijklm}	42.69 ^{klm}	48.99 ^{hijklm}	60.20 ^{cdefghijklm}

Especie * Época * Edad (P<0.01)

^{abcdefghijklm} Medias con distinta literal entre columnas e hileras son diferentes (P<0.05)**Cuadro 22. Efectos principales de especie, época y edad de rebrote sobre el contenido de Mn (mg/kg de MS).**

Especie	Mn	Época	Mn	Edad (días)	Mn	Efecto Lineal
Mombasa	68.34 ^{ab}	Secas	56.29 ^b	21	55.47 ^c	<0.0001
E. de África	60.81 ^{bc}	Lluvias	66.07 ^a	28	63.17 ^b	
Insurgente	70.94 ^a	Nortes	66.89 ^a	35	70.60 ^a	
Mulato	57.04 ^{dc}					
Chetumal	71.25 ^a					
Angleton	50.12 ^d					

Especie * Época * Edad (P<0.01)

^{abcd} Medias con distinta literal por columna son diferentes (P<0.05)

Al comparar la cantidad de Mn presente en las gramíneas del presente estudio con las necesidades para producción de las distintas especies de rumiantes domésticos de acuerdo con el NRC (2001) (Cuadro 23), o tomando en cuenta los niveles de concentración, se tiene: deseable (>101 mg/kg de MS), medio (41-100 mg/kg de MS), marginal (21-40 mg/kg de MS) o deficiente (< 20 mg/kg de MS); se demuestra que la concentración de Mn en las gramíneas del presente estudio satisface las necesidades de los rumiantes domésticos, ya que todos los pastos presentaron una concentración media, superior al nivel considerado crítico. Kawas et al. (1997) en gramíneas cosechadas en Tamaulipas, registraron valores inferiores tanto para la época de lluvias como de secas (30.7 – 16.4 mg/kg de MS respectivamente). López et al (2007), indicaron cambios en la concentración de Mn en el forraje, en función al tipo de suelo y su interacción con las características del medio ambiente.

Cuadro 23. Necesidades de Mn (mg/kg de MS) en las gramíneas y rumiantes domésticos.

Gramíneas	Bovinos de carne¹	Caprinos²	Ovinos²
	6 - 18 meses	Crecimiento (15 - 40 kg)	Crecimiento
	22 - 14	8.57 - 20.57	19 - 18.47
Nivel crítico^o	Crecimiento y Finalización	Mantenimiento y Crecimiento	Mantenimiento y Crecimiento
<20	20	12.90 - 8.33	13.07 - 11.02
	Gestación	Lactación simple (40 - 80 kg)	Lactación simple
	40	10.42 - 12.98	10.71 - 13.64
	Lactación temprana	Lactación gemelar (40 - 80 kg)	Lactación gemelar
	40	12.62 - 12.28	12.59 - 12.39

^o El nivel crítico (o deficiente de los pastos) es la concentración en la cual el crecimiento normal de los forrajes puede afectarse adversamente (Rojas et al., 1993)

¹ Nutrient Requirements of Beef Cattle. NRC, 1996

² Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. NRC, 2007.

8. Zinc

En el Cuadro 24, se muestra el contenido de Zn el cual tuvo un efecto significativo ($P<0.05$) de la interacción especie*época*edad. El pasto Chetumal a 21 días al corte en la época de nortes, fue el que presentó la mayor ($P<0.05$) concentración (60.71 mg/kg de MS), en tanto que el pasto Mombasa registró la menor cantidad de este elemento a los 35 días de edad durante la época de nortes (14.05 mg/kg de MS).

Al analizar los efectos principales sobre el contenido de Zn (Cuadro 25), por especie se observa que el pasto Chetumal registró la mayor ($P<0.05$) cantidad de este elemento mineral, en comparación el pasto Mulato y Mombasa. Los pastos Estrella de África, Insurgente y Angleton presentaron una concentración similar entre ellos y el pasto Chetumal, en tanto que el pasto Mombasa registró la menor ($P<0.05$) cantidad de Zn.

Con respecto a la época, fue mayor ($P<0.05$) el contenido de Zn en secas (Cuadro 25), en comparación a la concentración registrada en lluvias y nortes, en tanto que la cantidad registrada en estas dos últimas, fue similar entre ellas ($P>0.05$). Este resultado fue similar al que obtuvieron López et al. (2007) en pastos de Tabasco, debido a que la precipitación pluvial incrementa la solubilidad y lixiviación del Zn en los suelos, haciéndolo menos disponible para la planta. Además, la absorción de este elemento puede verse modificada por concentraciones altas de Fe, que inhiben la absorción de Zn por la planta.^{81,82}

Con relación a la edad de la planta al corte (Cuadro 25), se manifestó un efecto cuadrático ($P<0.05$) en el cual a 28 días de edad la concentración de Zn fue mayor, en tanto que a los 21 y 35 días de edad de rebrote, el contenido fue similar ($P>0.05$).

La concentración de Zn registrada en el pasto Mulato y Mombasa no fue suficiente para superar el nivel crítico para el crecimiento de las plantas (<30 mg/kg de MS) indicado por López et al. (2007); el resto de los pastos manifestó poseer una cantidad mayor a la marginal (31-50 mg/kg de MS) registrada por McDowell y Conrad (1977) y Minson (1990), quienes señalaron que la mayoría de los forrajes tropicales presentan deficiencias de Zn, reportando valores inferiores a 30 mg/kg de MS.

Cuadro 24. Efecto de la interacción (especie*época del año*edad de rebrote) sobre el contenido de Zn (mg/kg de MS).

Época	Secas			Lluvias			Nortes		
	Días de Rebrote								
	21	28	35	21	28	35	21	28	35
Mombasa	24.96 ^{cdefghij}	26.04 ^{bcdefghij}	21.13 ^{fghij}	25.41 ^{bcdefghij}	24.38 ^{cdefghij}	17.43 ^{ij}	25.49 ^{bcdefghij}	14.32 ^{ij}	14.05 ^j
E. de África	29.19 ^{bcdefghij}	20.35 ^{ghij}	35.66 ^{bcdefg}	33.16 ^{bcdefgh}	36.22 ^{bcdefg}	36.43 ^{bcdefg}	36.24 ^{bcdefg}	31.05 ^{bcdefghij}	29.37 ^{bcdefghij}
Insurgente	31.44 ^{bcdefghi}	33.62 ^{bcdefgh}	30.96 ^{bcdefghij}	38.58 ^{bcde}	42.53 ^b	29.12 ^{bcdefghij}	30.13 ^{bcdefghij}	36.46 ^{bcdefg}	24.97 ^{cdefghij}
Mulato	30.47 ^{bcdefghij}	30.49 ^{bcdefghij}	26.94 ^{bcdefghij}	33.95 ^{bcdefgh}	30.00 ^{bcdefghij}	26.82 ^{bcdefghij}	28.19 ^{bcdefghij}	28.02 ^{bcdefghij}	23.92 ^{cdefghij}
Chetumal	40.32 ^{bc}	23.16 ^{defghij}	31.39 ^{bcdefghi}	40.14 ^{bcd}	38.10 ^{bcdef}	29.81 ^{bcdefghij}	60.71 ^a	26.15 ^{bcdefghij}	24.17 ^{cdefghij}
Angleton	33.22 ^{bcdefgh}	21.71 ^{efghij}	25.28 ^{cdefghij}	35.25 ^{bcdefg}	41.06 ^{bc}	33.09 ^{bcdefgh}	34.23 ^{bcdefgh}	36.16 ^{bcdefg}	38.73 ^{bcde}

Especie * Época * Edad (P<0.01)

^{abcdeefghi} Medias con distinta literal entre columnas e hileras son diferentes (P<0.05)

Cuadro 25. Efectos principales de especie, época y edad de rebrote sobre el contenido de Zn (mg/kg de MS).

Especie	Zn	Época	Zn	Edad (días)	Zn	Efecto Cuadrático
Mombasa	21.47 ^c	Secas	33.95 ^a	21	28.68 ^b	0.0003
E. de África	31.96 ^{ab}	Lluvias	29.99 ^b	28	32.86 ^a	
Insurgente	33.09 ^{ab}	Nortes	27.74 ^b	35	30.13 ^b	
Mulato	28.75 ^b					
Chetumal	34.88 ^a					
Angleton	33.19 ^{ab}					

Especie * Época * Edad (P<0.01)

^{abc} Medias con distinta literal por columna son diferentes (P <0.05)

Al respecto, Kawas et al. (1997), obtuvieron para la época de lluvias valores similares (30.7 mg/kg de MS) a los de la presente investigación, y Vivas et al. (2011), reportaron que las gramíneas en la zona centro del estado de Yucatán poseen un contenido similar a los de este estudio; del mismo modo, López et al. (2007) indicaron valores similares en los pastos provenientes del estado de Tabasco. La mayoría de los pastos evaluados, con excepción de Mulato y Mombasa, satisfacen los requerimientos para producción de los rumiantes domésticos; sin embargo, ninguna de las gramíneas cumple con los requerimientos para lactación en ovinos y caprinos y para bovinos de carne con una edad de 6 – 18 meses.

Cuadro 26. Necesidades de Zn (mg/kg de MS) en las gramíneas y rumiantes domésticos.

Gramíneas	Bovinos de carne¹	Caprinos²	Ovinos²
	6 - 18 meses	Crecimiento (15 - 40 kg)	Crecimiento
	32 - 18	5.71 - 21.99	21 - 31.4
Nivel crítico^o	Crecimiento y Finalización	Mantenimiento y Crecimiento	Mantenimiento y Crecimiento
<30	30	14.52 - 10	26.14 - 22.88
	Gestación	Lactación simple (40 - 80 kg)	Lactación simple
	30	30.21 - 30.15	31.43 - 35.66
	Lactación temprana	Lactación gemelar (40 - 80 kg)	Lactación gemelar
	30	44.66 - 35.09	41.96 - 36.34

^o El nivel crítico (o deficiente de los pastos) es la concentración en la cual el crecimiento normal de los forrajes puede afectarse adversamente (Rojas et al., 1993)

¹ Nutrient Requirements of Beef Cattle. NRC, 1996

² Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. NRC, 2007.

VIII. CONCLUSIONES.

Bajo las condiciones edáficas y climatológicas que prevalecieron en el presente estudio es posible concluir que:

- La interacción especie*época*edad al corte fue determinante sobre la concentración de Ca, P, Mg, Na, Cu, Fe, Mn y Zn, el efecto fue distinto para cada una de las gramíneas tropicales analizadas.
- La cantidad de Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn fue distinta según la época del año, excepto para P y Cu, en general se registró mayor contenido de elementos minerales en los forrajes durante la época de lluvias.
- La edad de la planta al corte, modifica la concentración de Ca, P, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn; con excepción del Na.
- El pasto Mombasa fue el que presentó el mayor contenido de todos los elementos minerales analizados.
- El pasto Angleton presentó el menor contenido de todos los elementos minerales estudiados, lo que debe ser tomado en cuenta para la suplementación del ganado.
- En correspondencia a la cantidad de humedad en el suelo que hay en cada época, los elementos minerales menos móviles como: Ca, Fe, Zn, tuvieron mayor concentración en la época seca.

IX. LITERATURA CITADA

1. Olvera, S. Gómez, G. & Plascencia, B. (2011). La región del trópico húmedo mexicano, principal productor agrícola de temporal en México. En 2do Congreso Nacional de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 18-20 de mayo de 2011. Tabasco, México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
2. Jank, L. B. (2005) Grass and forage plant improvement in the tropics and subtropics. En: *Grassland: a Global Resource*. McGilloway, D. A. (ed.). Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
3. Ackerman, B. (1983) *Las gramíneas de México*. Tomo 1. México: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, COTECOCA.
4. Enríquez, Q. & Peralta M. (1992). Informe INIFAP sobre semillas forrajeras en México. En Ferguson, J. (ed.) *Avances en los programas de suministro de semillas de especies forrajeras en Centroamérica*. Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
5. Argel, P. (2005) Contribución de los forrajes mejorados a la productividad ganadera en sistemas de doble propósito. En *XIX Reunión de la Asociación Latinoamericana de Producción Animal*. Tampico, 26-28 octubre de 2005. Tampico: Asociación Latinoamericana de Producción Animal. pp.42-50.
6. Juárez, R. et al. (2009) Estimación del valor nutricional de pastos tropicales a partir de análisis convencionales y de la producción de gas in vitro. *Técnica Pecuaria México*.47 (1). pp. 55-67.
7. Mott, G. (1960) Grazing pressure and the measurement of pasture production. In *VIII International Grassland Congress*. England: University of Reading. pp. 606-611.
8. Bransby, D. et al. (1988) Justification for grazing intensity experiments: Analyzing and interpreting grazing data. *Journal of Range Management*. 41(4). p. 274-279.
9. Hardy, M., Meissner, H. & O'Reagan, P. (1997) Forage intake and free-ranging ruminants: A tropical perspective. En *XVIII International Grassland Congress*. Saskatoon, Canada. pp. 42-52.

10. Hernández – Garay, A. et al. (2002) Dinámica del rebrote del pasto Insurgente (*Brachiaria brizantha* Hochst. Staff.) pastoreado a diferente asignación en la estación de lluvias. *Técnica Pecuaria México*. 40 (1). pp. 193-205.
11. Hernández-Garay, A. et al. (2004) Nitrogen fertilization and stocking rate effect stargrass pasture and cattle performance. *Crop Science*. 44(1). pp. 1348-1354.
12. White, A. & Brantley, S. (1996) Chemical weathering rates of minerals. En Summer, E. (ed.) *Handbook of soil science*. Boca Raton, Florida: CRC Press. pp. 463-481.
13. Nesbitt, H. (1997) Bacterial and inorganic weathering processes and weathering of crystalline rocks. En McIntosh, J. & Groat, L. (eds.) *Biological-mineralogical interactions*. Ottawa, Canada: Assoc. Can. Short Courses Series, v. 25.
14. Cady, J. & Flach, K. (1997) History of soil mineralogy in the United States Department of Agriculture. *Adv. GeoEcol*, 29:211-240.
15. Taiz, L. & Zeiger, E. (1998) *Plant physiology*. 2nd Ed. Stamford, Connecticut: Inc. Publishers.
16. Whitehead, D. (2000) *Nutrient elements in grassland: Soil-plant-animal relationships*. Oxford, U.K.: CAB International.
17. Minson, D. (1990) Forage in ruminant nutrition. En Cunha, T. (ed.) *Animal feeding and nutrition*. San Diego, California: Academic Press. pp. 310-317.
18. McDowell, L. et al. (1997) Nutritional composition of Latin America forages. *Tropical Animal Production*. 2. p.3-10.
19. Troncoso, A. H. (2012) *Nutrición mineral*. FMVZ-UNAM, México.
20. Ortiz, S. C. (2010) *Edafología*. 8ª Edición. Universidad Autónoma Chapingo: Departamento de Suelos.
21. Cámara-Córdova. J. (1998) *Estudio del suelo: Edafología: Memorias del V curso para los alumnos de la licenciatura de Ingenieros Agrónomos de la División Académica de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco*. Villahermosa, México. p. 114.
22. SEMARNAT. (2010) *Suelos*. [En línea] junio 2010. Disponible en: http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/03_suelos/cap3_1.html. [Consultado: 16 marzo 2014].

23. FAO. (2006). *Textura del suelo*. [En línea] Disponible en: ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6706s/x6706s06.htm. [Consultado: 18 marzo 2014].
24. FAO. (2001). *Factores Ambientales*. [En línea] Disponible en: <http://www.fao.org/DOCREP/006/X8234S/X8234S00.HTM>. [Consultado: 18 marzo 2014].
25. Hodges, S. C. (2011) *Soil Fertility Basics*. North Carolina State University: Soil Science Extension.
26. Sparks, D. L. (1999) Bioavailability of soil potassium. En: Sumner, M. E. (ed). *Handbook of Soil Science*. Boca Ratón, Florida: CRC Press.
27. Díaz, P. et al. (2005) *Metabolismo de Nitrógeno en Plantas*. [En línea] Octubre 2005. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/~bioquimica/docencia/material%20nivelacion/METABOLMETA%20%20DEL%20NITROGENO.pdf>. [Consultado: Abril 1 2014].
28. Morgan, J. B. & Connolly, E. L. (2013) Plant-Soil Interactions: Nutrient Uptake. *Nature Education Knowledge* 4(8):2.
29. Kramer, P. J. (1983) *Relaciones hídricas de suelos y plantas. Una Síntesis Moderna*. Edutex. México, D.F. p.538.
30. Huerta, B. M. & Aranda, O. G. (2002) Importancia de los Minerales en el Ganado bovino. En: Memorias del *1er Simposio sobre Minerales de Importancia Ganadera en Tabasco*. Villahermosa, Tabasco. México.
31. Muslera, P. E. & Ratera, G. C. (1991) *Praderas y Forrajes: Producción y Aprovechamiento*. 2ª ed. Madrid, España: Mundi-Prensa.
32. Flores, M. J. (1983) *Bromatología Animal*. 3a ed. México, D.F.: Limusa.
33. Bogdan, A.V. (1997) *Pastos Tropicales y Plantas de Forraje*. México, D.F.: GTA Editor.
34. López, J. et al. (2007) *Minerales en la Ganadería Extensiva en Tabasco*. Libro Científico Núm. 3. Campo Experimental Huimanguillo. INIFAP, Tabasco, México: CIRGOC.

35. Días, S. M. (2000) *Producción y Caracterización de Forrajes y Granos para la Alimentación Animal*. Tesis de Doctorado. La Habana, Cuba: Universidad Nacional Agraria de la Habana. Instituto de Ciencia Animal.
36. Tropical Forages. (2007) *Panicum maximum Factsheet*. [En línea] Disponible en: http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/Panicum_maximum.htm. [Consultado: 10 marzo 2014].
37. FAO. (2008) *Panicum maximum Jacq.* [En línea] Disponible en: <http://www.fao.org/ag/agp/AGPC/doc/gbase/data/Pf000278.HTM>. [Consultado: 10 marzo de 2014].
38. FAO. (2009) *Cynodon plectostachyus (K. Schum.) Pilger*. [En línea] Disponible en: <http://www.fao.org/ag/agp/AGPC/doc/Gbase/data/pf000210.htm>. [Consultado: 14 marzo 2014].
39. Tropical Forages. (2010) *Especies Forrajeras Multipropósito Cynodon plectostachyus*. [En línea] Disponible en: <http://www.tropicalforages.info/Multiproposito/key/Multiproposito/Media/Html/Cynodon%20plectostachyus%20y%20Cynodon%20nlemfuensis.htm>. [Consultado: 14 marzo 2014].
40. Feedipedia. (2013) *Giant Star Grass (Cynodon plectostachyus)*. [En línea] Disponible en: <http://www.feedipedia.org/node/468>. [Consultado: 14 marzo 2014].
41. Tropical Forages. (2011) *Especies Forrajeras Multipropósito: Brachiaria brizantha*. [En línea] Disponible en: <http://www.tropicalforages.info/Multiproposito/key/Multiproposito/Media/Html/Brachiaria%20brizantha.htm>. [Consultado: 20 marzo 2014].
42. Tropical Forages. (2011) *Brachiaria brizantha*. [En línea] Disponible en: http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/Brachiaria_brizantha.htm. [Consultado: 20 marzo 2014].
43. Pérego, J. (1999) *Brachiaria brizantha, implantación, manejo y producción*. [En línea] Disponible en: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_megatermicas/28-brachiaria_brizantha.pdf. [Consultado: 21 marzo 2014].

44. FAO. (2010) *Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Stapf. [En línea] Disponible en: <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Gbase/data/pf000187.htm>. [Consultado: 21 marzo 2014].
45. Tropical Forages. (2011) *Especies Forrajeras Multipropósito Brachiaria híbrido*. [En línea] Disponible en: <http://www.tropicalforages.info/Multiproposito/key/Multiproposito/Media/Html/Brachiaria%20hibrido.htm>. [Consultado: 23 marzo 2014].
46. Tropical Forages (2011) *Brachiaria spp. Hybrids*. [En línea] Disponible en: http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/Brachiaria_spp._hybrids.htm. [Consultado: 23 marzo 2014].
47. Pastures Australia. (2012) *Brachiaria hybrid*. [En línea] Disponible en: http://keys.lucidcentral.org/keys/v3/pastures/Html/Brachiaria_hybrid.htm. [Consultado: 23 marzo 2014].
48. Feedipedia. (2012) *Koronivia grass (Brachiaria humidicola)*. [En línea] Disponible en: <http://www.feedipedia.org/node/585>. [Consultado: 23 marzo 2014].
49. United States Department of Agriculture. *Germplasm Resources Information Network: Urochloa humidicola (Rendle) Morrone & Zuloaga*. [En línea] Disponible en: <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?401379>. [Consultado: 24 marzo 2014].
50. Tropical Forages. (2011) *Brachiaria humidicola*. [En línea] Disponible en: http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/Brachiaria_humidicola.htm. [Consultado: 24 marzo 2014].
51. FAO. (2009) *Brachiaria humidicola (Rendle) Schweick*. [En línea] Disponible en: <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Gbase/data/pf000190.htm>. [Consultado: 24 marzo 2014].
52. CONABIO. (2009) *Dichanthium aristatum (Poiret) C.E. Hubbard*. [En línea] Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/dichanthium-aristatum/fichas/ficha.htm#5.+Biolog%EDa+y+ecolog%EDa>. [Consultado: 14 marzo 2014].

53. Utah State University. (2009) *Dichanthium Willemet*. [En línea] Disponible en: http://herbarium.usu.edu/webmanual/info2.asp?name=dichanthium_aristatum&type=treatment. [Consultado: 14 marzo 2014].
54. Tropical Forages. (2011) *Dichanthium aristatum*. [En línea] Disponible en: http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/Dichanthium_aristatum.htm. [Consultado: 14 marzo 2014].
55. Gutiérrez, M. V. (1997) *Nutrición Mineral de las Plantas: Avances y Aplicaciones*. Agron. Costarricense 21(1):127-137.
56. Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. (1992) *Trace Elements in Soils and Plants*. Boca Ratón, Florida: CRC Press.
57. Schalau, J. (1998) *Plant Mineral Nutrition*. [En línea] Disponible en: <http://ag.arizona.edu/yavapai/anr/hort/byg/archive/mineralnutrientspart2.html>. [Consultado: 15 marzo 2014].
58. Enríquez, Q. F., Meléndez, N. F. & Bolaños, A. E. (1999) *Tecnología para la Producción y Manejo de Forrajes Tropicales en México*. INIFAP. Centro de Investigación Regional Golfo Centro. Campo Experimental Papaloapan, Veracruz, México.
59. García, O. A. & Valenzuela, B. I. (2001) *Manejo Productivo de los Suelos*. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Colombia: Comité Regional del Valle del Cauca.
60. Ramírez, P.A. (2002) Contenido Mineral en Forrajes Tropicales y Otras Fuentes Alimenticias. En: Báez, R. U., López, J. & Ortiz, R. *Memorias del 1^{er} Simposio sobre Minerales de Importancia Ganadera en Tabasco*. Villahermosa, Tabasco, México.
61. Schroeder, J. W. (2012) *Use of minerals in dairy cattle*. [En línea]. Disponible en: <http://www.ag.ndsu.edu/pubs/ansci/dairy/as1271.pdf> [Accedido: 1 abril 2014].
62. Rasby, R. J. et al. (2012) *Minerals and Vitamins for Beef Cows*. [En línea] Disponible en: <http://ianrpubs.unl.edu/live/ec288/build/ec288.pdf>. [Consultado: 20 marzo 2014].
63. Torres, G. A. & Hernández, V. G. (2003) *Consideraciones sobre la Fisiología de la Nutrición Mineral en las Plantas Superiores*. [En línea] Disponible en:

- <http://www.isch.cu/biblioteca/anuari02/mono%20Fisiolog%Eda%20de%20la%Nutrici%Fn3%20Mineral.htm>.10K. [Consultado: 27 febrero 2014].
64. Elliott, M. (2009) *Grass Tetany in Cattle- Treatment and Prevention*. [En línea] Disponible en: http://www.dpi.nsw.gov.au/__data/assets/pdf_file/0008/110888/Grass-tetany-in-cattle-treatment-and-prevention.pdf. [Consultado: 1 marzo 2014].
 65. Government of Saskatchewan. (2009) *Minerals for Beef Cattle*. [En línea] Disponible en: http://www.agriculture.gov.sk.ca/Minerals_for_Beef_Cattle. [Consultado: 3 marzo 2014].
 66. Johnston, M., Grof, C. P. & Brownell, P. F. (1984) Responses to Ambient CO₂ concentrations by Sodium-Deficient C₄ Plants. *Australian Journal of Plant Physiology*, 11.
 67. Lastra, C. O. (2006) *Sodio en Plantas C₄*. Departamento de Química Inorgánica y Analítica. Facultad de Ciencias Químicas. Santiago Chile, Chile: Universidad de Chile.
 68. Marschner, H. (1995) *Mineral Nutrition of Higher Plant*. Londres, Reino Unido: Academic Press.
 69. Subbarao, G. V. (2003) Sodio- A Functional Plant Nutrient. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(5).
 70. Hodges, S. C. (2011) Soil Fertility Basics. En: *Micronutrients*. North Carolina State University: Soil Science Extension.
 71. Underwood, E. & Suttle, N. (1999) *The mineral nutrition of livestock*. 3rd Ed. Oxford, U.K.: CAB International. pp. 614.
 72. Machen, R. (2012) *Minerals*. [En línea] Disponible en: <http://animalscience.tamu.edu/files/2012/04/nutrition-minerals.pdf>. [Accedido: 15 marzo 2014].
 73. Church, D., Pond, W. & Pond, K. (2002) Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. UTEHA WILEY. México.
 74. Lalman, D. & McMurphy, C. (2005) *Vitamin and Mineral Nutrition of Grazing Cattle*. Oklahoma, US: Oklahoma State University, Division of Agricultural Sciences and Natural Resources.

75. Targas, L. & Sánchez, P. (1979) Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. Memorias. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.
76. Garmendia, J. (1997). *Los minerales en la reproducción bovina*. Caracas, Venezuela: Facultad de Ciencias Veterinarias.
77. Vivas, M. E. et al (2011) Contenido Mineral de Forrajes en Predios de Ovinocultores del Estado de Yucatán. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2(4). p. 465-475.
78. Arizmendi, D. et al. (2003) Mineral Concentrations in Four tropical Forages as Affected by Increasing Day Length. *Florida Beef Report*. 28(4). p. 43-44.
79. Torres, C. E. et al. (2009) Comparación de la Concentración Mineral en Forrajes y Suelos de Zonas Ganaderas del Estado de Quintana Roo, México. *Veterinaria México*. 40 (2). p. 167-179.
80. Kawas, J. J. (1996) *Seasonal changes of Mineral Concentrations of Tropical Grasses in Mexico*. 17. P. 101-102.
81. Velásquez-Pereyra, J. et al. (1997a) Mineral Status of Soils, Forages and Cattle in Nicaragua. I. *Microminerals*. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 14:73-89.
82. Velásquez-Pereyra, J. et al. (1997b) Mineral Status of Soils, Forages and Cattle in Nicaragua. II. *Forage Macrominerals and Organic Constituents*. Rev. Fac. Agron. (LUZ) 14:91-110.
83. National Research Council. (2001) *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th Ed. Washington, D. C.: National Academy Press.
84. Kojouri, G.H. (2002) *Relationship Between Levels of Copper in Different Soils and Plants*. En: Proc. 22th World Buiatrics Congress. Hannover, Germany. p. 233-238.