


Composición bioquímica de pastos tropicales por época del año recibiendo fertilización nitrogenada con riego



Jorge Luis Contreras-Jácome ^a

Francisco Indalecio Juárez-Lagunes ^{a*}

Maribel Montero-Lagunes ^b

Javier Francisco Enríquez-Quiroz ^b

Abigail Castro-González ^a

José Manuel Martínez-Hernández ^a

^a Universidad Veracruzana. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, 91710, Veracruz, Ver. México.

^b Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental La Posta, Veracruz, México.

*Autor de correspondencia: juarezf@hotmail.com

Resumen:

El objetivo fue evaluar el efecto de la fertilización con nitrógeno y riego (FR) por época del año sobre rendimiento de materia seca (RMS) y composición bioquímica de pastos tropicales. Se utilizaron cinco variedades de pastos. Cada uno con tres repeticiones con FR, y tres repeticiones sin FR. Los pastos se cortaron cada 35 días. La dosis de fertilización con Nitrógeno fue de 138 kg/ha/año equivalente a 300 kg de urea. Las parcelas con FR se regaron de diciembre a mayo. Las épocas fueron: lluvias (L, jun-nov); “nortes” (N, dic-feb) y sequía (S, mar-may). Se determinó RMS, y se estimaron las fracciones de carbohidratos y de proteínas disponibles. El diseño estadístico fue completamente al azar en arreglo de parcelas subdivididas. Las medias se compararon por Tukey ($P \leq 0.05$). Sin FR en L el RMS fue el 53 % de lo que se produce con FR, y en N y S solo es el 26 y 15 % respectivamente. El

nitrógeno no proteico y la proteína verdadera soluble en rumen son las fracciones proteicas que más se incrementan con FR. Los carbohidratos totales (CT), carbohidratos no fibrosos (CNF) y fibra detergente neutro (FDN) digestible son más elevados en L y S; siendo en los pastos sin FR mayores los incrementos en CT en S, CNF en L y S y FDN digestible en S. Las fracciones indigestibles se incrementan en “nortes”, y en los pastos con FR también en la época de sequía. El efecto del FR sobre las fracciones de carbohidratos es clima-dependiente.

Palabras Clave: Forrajes, Calidad nutricional, Fertirriego.

Recibido: 30/05/2024

Aceptado: 23/01/2025

Introducción

Los suelos tropicales, por su baja capacidad de nitrificación, entre otros factores, se caracterizan por contener niveles bajos de nitrógeno (0.10 %)⁽¹⁾ para el cultivo de los pastos utilizados en la producción bovina. Se estima que la deficiencia de nitrógeno limita la producción y calidad del forraje debido a que es el mayor constituyente de la clorofila, aminoácidos, trifosfato de adenosina (ATP) y materiales genéticos⁽²⁾. Algunos autores^(3,4) reconocen que la fertilización con nitrógeno puede aumentar el porcentaje de proteínas y el rendimiento en materia seca (RMS) t ha⁻¹. Por consiguiente, la fertilización con nitrógeno permite mejorar la capacidad de carga ganadera y rendimiento animal por superficie de acuerdo con la capacidad fotosintética de la planta⁽⁴⁾.

Por otro lado, la estacionalidad en la distribución de las lluvias es la mayor limitante para el rendimiento de los pastos, y en este sentido se requieren especies forrajeras con mayor productividad y adaptadas a las distintas estaciones del año⁽⁵⁾. En las regiones tropicales de México, debido a la estacionalidad en la producción forrajera dependiente de la precipitación, los parámetros productivos del sistema bovino, particularmente de doble propósito, son bajos, ya que el 90 % de su alimentación se basa en pastos⁽⁶⁾. Para que la fertilización nitrogenada funcione durante el estiaje se tiene que proporcionar agua, reportándose⁽¹⁾ que se requiere 35 % de humedad en el suelo para máxima nitrificación. La fertilización con riego durante los seis meses de período de sequía (diciembre a mayo) en el trópico mexicano actualmente se plantea como una tecnología insostenible desde el punto de vista económico, pero si la tendencia es hacia intensificar el sistema de producción, importar recursos forrajeros quizás sea menos sostenible. El objetivo fue evaluar el efecto de la fertilización con nitrógeno y riego (FR) sobre rendimiento de materia seca (RMS) y composición

bioquímica de pastos tropicales durante las estaciones de “nortes”, sequía y lluvias en clima cálido subhúmedo.

Material y métodos

Área de estudio. El experimento se condujo en el Campo Experimental “La Posta” (INIFAP), Paso del Toro, Veracruz, localizado a 19° 02′ LN y 96° 08′ LO y a 16 msnm. Clima tropical subhúmedo tipo Aw₁⁽⁷⁾. Promedio anual de: precipitación pluvial, 1,328 mm; temperatura, 25 °C; humedad relativa, 81 %. El suelo se clasifica como vertisol, con pH ácido de 5.4, textura arcillosa con 2.6 % de materia orgánica y 9.5 ppm de NO₃.

Material vegetativo. Las 5 gramíneas utilizadas fueron: *Cenchrus purpureus* (Marafalfa), *Megathyrsus máximus* (Mombasa), *Urochloa brizantha* (Insurgente), *Urochloa humidicola* (Rendle) CIAT 6133 y *Urochloa ruziziensis* x *Urochloa brizantha* (Mulato I). Por cada pasto se establecieron seis parcelas (3 x 2 m): tres parcelas con FR y tres parcelas sin FR con área de muestreo 1 m² por parcela. Los pastos se cortaron cada 35 días, de agosto de 2011 a julio de 2012. Después de cada corte las parcelas con FR se fertilizaban con 13.8 kg/ha de nitrógeno repartidos en 10 aplicaciones para un total de 138 kg/ha/año. A las parcelas con FR se les aplicó riego solo en los meses de diciembre a mayo (épocas de “nortes” y sequía). Las parcelas sin FR jamás recibieron ni riego ni fertilización.

Épocas del año. Se clasificaron como lluvias (junio-noviembre), “nortes” (diciembre-febrero) y sequía (marzo-mayo) de acuerdo con Muñóz *et al*⁽⁸⁾.

Rendimiento de materia seca (RMS). Se determinó cosechando el forraje disponible en un cuadrante de 1 m por lado a 15 cm de altura para *Urochloa* y 30 cm de altura para *Megathyrsus* y *Cenchrus*, y se pesó en campo con báscula digital portátil. El forraje verde se expresó como (kg ha⁻¹). Posteriormente se tomaron muestras de 500 g y se secaron a 105 °C en estufa de aire forzado durante 24 h para determinar contenido de MS, y se desecharon.

Composición bioquímica. Otras muestras de 500 g se secaron a 55 °C en estufa de aire forzado hasta peso constante y se molieron en molino Wiley con malla de 2 mm. Procedimientos estándar del AOAC⁽⁹⁾ fueron usados para medir contenidos de MS (AOAC 934.01), cenizas (AOAC 942.05), extracto etéreo (EE), y proteína cruda (AOAC 990.03) por Macrokjeldahl. Las fracciones de Nitrógeno se determinaron por las técnicas descritas por Licitra *et al*⁽¹⁰⁾: Nitrógeno no proteico (NNP); proteína soluble (PS); proteína en paredes celulares (PIDN); y proteína indigestible (PIDA). Fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácido (FDA) por tecnología Ankom⁽¹¹⁾. Lignina por Goering y Van Soest⁽¹²⁾.

Fraciones de carbohidratos. Los carbohidratos totales y las fracciones de carbohidratos disponibles se estimaron con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Carbohidratos totales (CT, \%MS)} = 100 - \text{PC} - \text{EE} - \text{cenizas} - \text{lignina} \quad (1)$$

$$\text{Carbohidratos no fibrosos (CNF, \%MS)} = 100 - \text{cenizas} - \text{EE} - \text{PC} - (\text{FDN libre de PC}) \quad (2)$$

$$\text{Carbohidratos fibrosos (CF, \%MS)} = (\text{FDN libre de PC}) - \text{lignina} \quad (3)$$

$$\text{FDN indigestible (\%MS)} = (\text{FDN libre de PC} * (\text{lignina, \%FDN libre de PC}) * 2.4) / 100 \quad (4)$$

$$\text{FDN digestible (\%MS)} = \text{FDN libre de PC} - \text{FDN indigestible} \quad (5)$$

Fraciones de proteínas. La estimación de las fracciones de proteína se presenta como esquema en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Equivalencias de las fracciones bioquímicas proteicas con las fracciones nutricionales proteicas

Fraciones bioquímicas	Fración nutricionales
Nitrógeno * 6.25	Proteína cruda, PC
NNP	Nitrógeno no proteico (solubilidad inmediata)
PC – PIDN	PS es un paso para obtener la proteína verdadera soluble (PVSR)
PS – NNP	PVSR (solubilidad rápida e intermedia)
PIDN - PIDA	PVIR (solubilidad lenta o insoluble)
PIDA	PI (Proteína insoluble)

PIDN= proteína insoluble en FDN; PS= proteína soluble; PVSR= proteína verdadera soluble en rumen; PVIR= proteína verdadera parcialmente insoluble en rumen; PIDA= proteína insoluble en FDA; PI= proteína insoluble.

Diseño experimental y análisis estadístico. Las variables de RMS, composición bioquímica, fracciones de carbohidratos y proteínas disponibles se sometieron a análisis de varianza con un diseño completamente al azar, en arreglo de parcelas divididas, siendo la parcela grande la época del año, y la parcela chica el fertirriego (FR). Las variables se analizaron estadísticamente usando el procedimiento de modelos lineales generalizados (PROC GLM) del programa SAS versión 9.1 (SAS, 2003)⁽¹³⁾. Las medias de cuadrados mínimos de los tratamientos se estimaron con la opción LSMEANS, mientras que las comparaciones entre ellas ($P \leq 0.05$) se realizaron con la prueba de Tukey.

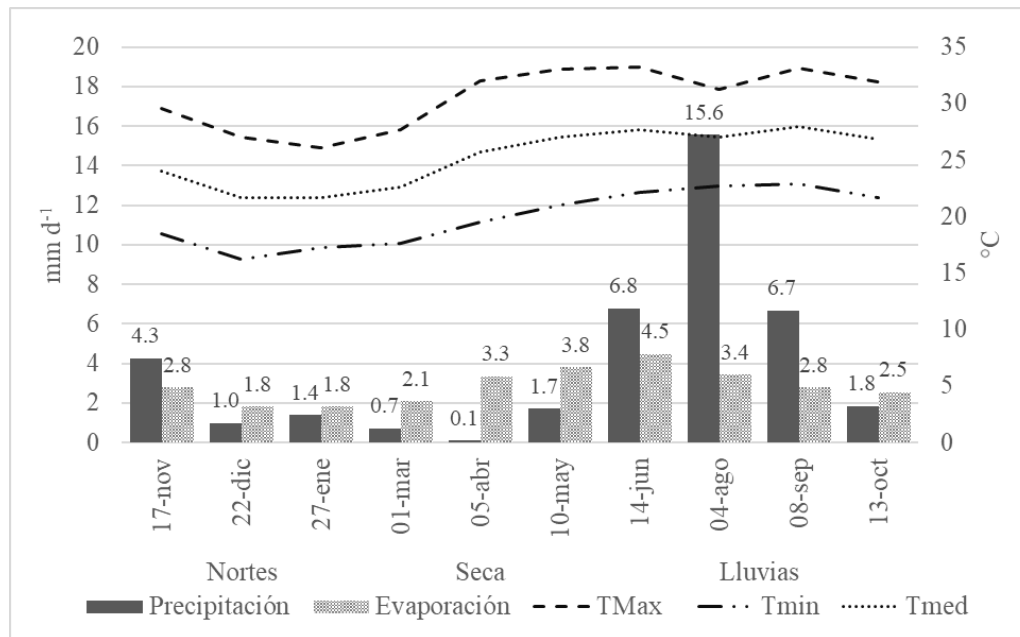
Resultados y discusión

Condiciones climáticas

La precipitación pluvial y temperaturas que prevalecieron en 2011 y 2012, durante el periodo experimental, se muestran en la Figura 1. En la época de lluvias se registraron 830 mm, en “nortes” 203 mm y en la época seca 189 mm, acumulados en periodos de 140 días (junio a

noviembre), 105 días (noviembre a marzo) y 105 días (marzo a junio), respectivamente, lo que se reflejó en la producción de los pastos evaluados. Las variaciones en la temperatura también fueron importantes, particularmente en los meses de diciembre a febrero, tiempo durante el cual ocurren bajas temperaturas que en ocasiones llegaron a los 17.5 °C, las cuales limitan el crecimiento de los pastos tropicales.

Figura 1: Condiciones climáticas durante 2011 y 2012 en Paso del Toro, Veracruz. Fuente: CONAGUA



Los Cuadros 2 y 3 presentan las medias ajustadas y las significancias estadísticas por los efectos de época del año, fertirriego y sus interacciones para las variables estudiadas. En las variables en las que no hubo interacción ($P \geq 0.05$), se discutirán los efectos principales (Cuadro 4). Las variables en las que la interacción fue $P \leq 0.05$, se discutirán las interacciones en los Cuadros 5 y 6.

Cuadro 2: Medias y significancias estadísticas del efecto de época del año, fertirriego y su interacción sobre el rendimiento de materia seca (RMS, kg ha⁻¹) y composición bioquímica de pastos tropicales

Variable, %	Media	Época (E)	Fertirriego (FR)	E*FR
RMS	1784.9	***	***	***
MS	22.3	***	ns	ns
CEN	10.6	***	***	***
EE	3.0	***	**	***
FDN	65.9	***	ns	***
FDA	38.4	***	*	***
LIG	9.983	***	***	***
PC	10.6	***	***	ns
NNP	2.9	***	***	ns
PIDN	3.8	***	***	ns
PIDA	1.1	***	ns	ns

RMS= rendimiento de materia seca; MS= materia seca; CEN= cenizas; EE= extracto etéreo; FDN= fibra detergente neutro; FDA= fibra detergente ácida; LIG= lignina; PC= proteína cruda; NNP= nitrógeno no proteico; PIDN= proteína insoluble en FDN; PIDA= proteína insoluble en FDA.
ns= no significativo; * $P \leq 0.05$; ** $P \leq 0.01$; *** $P \leq 0.001$.

Cuadro 3: Medias y significancias estadísticas del efecto de época del año, fertirriego y su interacción sobre las fracciones de carbohidratos, de fibra, de proteína cruda y fracciones de nitrógeno en pastos tropicales

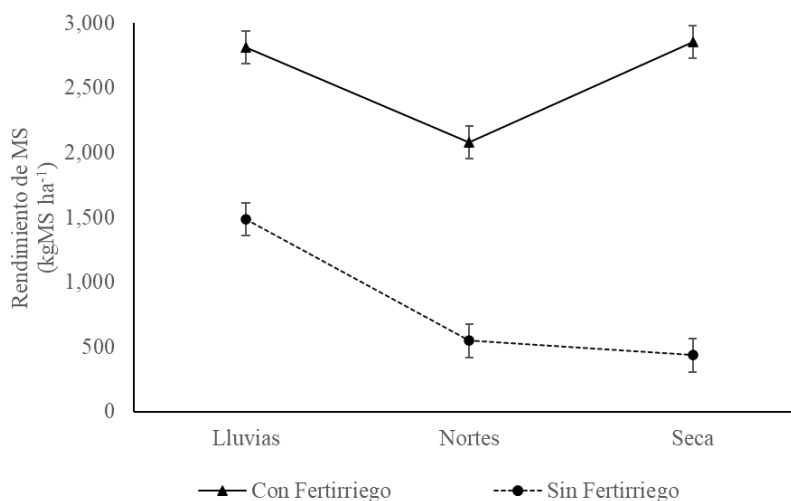
Variable, %	Media	Estación (E)	Fertirriego (FR)	E*FR
fracciones de carbohidratos y de fibra:				
CT	69.3	***	***	**
CNF	13.7	***	***	***
CF	55.6	***	**	ns
LIG, % FDN	10.0	***	***	***
FDN indigestible	15.7	***	***	***
FDN digestible	46.4	***	***	***
Fracciones de nitrógeno:				
NNP	2.9	***	***	ns
PVSR	3.9	***	***	ns
PVIR	2.6	***	***	ns
PI	1.1	***	*	ns

CT= carbohidratos totales; CNF=carbohidratos no fibrosos; CF= carbohidratos fibrosos; LIG= lignina; FDN= fibra detergente neutra; NNP= nitrógeno no proteico; PVSR= proteína verdadera soluble en rumen; PVIR= proteína verdadera insoluble en rumen; PI= proteína insoluble;
ns = no significativo, * $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$, *** $P \leq 0.001$.

Rendimiento de materia seca (RMS)

El FR favorece significativamente al RMS siendo la disponibilidad de nitrógeno y agua las principales limitantes del crecimiento de los pastos en el trópico (Figura 2). Con FR el RMS de la época de sequía es similar al de lluvias, y aunque en “nortes” el RMS fue inferior a lluvias y sequía, éste fue superior a cualquier estación sin FR. Sin FR en lluvias solo se produce el 53 % de RMS de lo que se produce con FR, y en “nortes” y sequía solo el 26 y 15 % del RMS con FR respectivamente. En los pastos sin FR el efecto estacional tiene dominancia sobre el RMS porque la respuesta productiva está en función de la disponibilidad de agua, como se pudo demostrar en “nortes” y sequía en donde el balance hídrico es negativo. Resultados coincidentes encontraron De Dios-León *et al*⁽¹⁴⁾ donde del total de producción de materia seca, el 79 % ocurre en lluvias (junio a octubre), el 13 % en “nortes” (noviembre a febrero) y 8 % en sequía (marzo a mayo).

Figura 2: Efecto del fertirriego y época del año sobre rendimiento de materia seca (RMS)



Composición bioquímica proteica, y fracciones de proteína

En el Cuadro 4 se presentan los efectos principales de época del año y fertirriego sobre la composición bioquímica proteica, y fracciones de proteína (%MS).

Proteína cruda (PC). Los pastos con FR tienen la mayor concentración de PC. Es bien sabido que la fertilización con nitrógeno incrementa la concentración de PC en forrajes^(15,16). En la época de “nortes” los pastos tienen la concentración proteica más alta y en lluvias la más baja. Coincide con mayor RMS en lluvias y menor en “nortes” (Figura 2). Quizás sea un factor de dilución, ya que el RMS (entre otros factores) diluyen la concentración de PC en los forrajes⁽¹⁷⁾. El impacto en los pastos sin FR sobre la PC en la época de lluvias es que la ubica en el límite crítico nutricional de 7 % con consecuencia en la depresión de la

digestibilidad y el consumo voluntario en bovinos⁽¹⁸⁾. Lo paradójico en el trópico, es que, en esta época de exceso de forraje, éste sea de baja cantidad proteica. El contenido de proteína y la producción de materia seca se correlacionan negativamente entre sí⁽¹⁷⁾.

Proteína insoluble en FDN (PIDN) y proteína insoluble en FDA (PIDA). La diferencia entre estas dos fracciones representa la proteína ligada a la fibra (básicamente extensinas), que es de solubilidad lenta en el rumen y que se encuentra influenciada positivamente por el FR y negativamente por las lluvias cancelando la interacción entre FR y época. La fracción PIDA que representa la indigestibilidad de la proteína, solo se afecta por la época del año, siendo la proteína más digestible en la temporada de “nortes”.

Nitrógeno no proteico (NNP). El NNP es la fracción proteica más dinámica representando el nivel más alto en “nortes” y el más bajo en lluvias (Cuadro 4). En la época de sequía no hubo diferencia estadística por efecto de FR. Trabajos previos han indicado que cuando la fotosíntesis está limitada, la fertilización nitrogenada incrementa la acumulación de nitrato en la planta^(19,20).

Cuadro 4: Efectos principales de época del año y fertirriego sobre composición bioquímica proteica, y fracciones de proteína (%MS)

Variable	Época			EEM	Fertirriego		EEM
	Lluvias	Nortes	Sequía		Con	Sin	
Composición bioquímica							
PC	8.6 ^c	13.3 ^a	10.8 ^b	0.215	12.3 ^a	9.6 ^b	0.163
PIDN	3.2 ^b	4.2 ^a	4.1 ^a	0.120	4.1 ^a	3.5 ^b	0.091
PIDA	1.2 ^a	0.7 ^b	1.2 ^a	0.075	1.2 ^a	1.0 ^a	0.057
Fracciones de proteínas							
NNP	2.2 ^c	3.6 ^a	2.9 ^b	0.150	3.4 ^a	2.5 ^b	0.114
PVSR	3.1 ^c	5.3 ^a	3.8 ^b	0.161	4.7 ^a	3.4 ^b	0.122
PVIR	1.9 ^c	3.4 ^a	2.8 ^b	0.115	2.9 ^a	2.5 ^b	0.087
PI	1.2 ^a	0.7 ^b	1.2 ^a	0.075	1.2 ^a	1.0 ^b	0.057

PC= proteína cruda; PIDN = proteína insoluble en FDN; PIDA= proteína insoluble en FDA; NNP= nitrógeno no proteico; PVSR= proteína verdadera soluble en rumen; PVIR= proteína verdadera insoluble en rumen; PI= proteína indigestible; EEM= error estándar de la media.

^{abc} Literales diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

Proteína verdadera soluble en rumen (PVSR). La PVSR es la fracción soluble de nitrógeno que responde a la fertilización sin importar la época del año. En “nortes”, se da el mayor impacto del FR sobre la PVSR (Cuadro 4). Alta concentración de PVSR es deseable ya que ésta es rápidamente degradable en rumen y puede resultar en mejor comportamiento animal⁽²¹⁾. Mayor PVSR resulta en mayor síntesis de proteína microbiana la cual se optimiza siempre y cuando los CNF no limiten el crecimiento microbiano.

Proteína verdadera insoluble en rumen (PVIR). No se encontraron cambios aparentes en la fracción proteica de lenta degradación por efecto del FR (Cuadro 4). Otros autores^(16,22) tampoco encontraron diferencias en la fracción proteica ligada a la fibra por efecto de la fertilización nitrogenada. Sin embargo, la época del año muestra marcada diferencia entre lluvias vs “nortes” y la estación seca. Rhaony *et al*⁽²²⁾ también encontraron que esta fracción proteica es más elevada en condiciones de baja precipitación. Aparentemente la escasez de agua incrementa esta fracción, pero como el bajo rendimiento está asociado a deficiencia de agua y/o nitrógeno, es probable que las extensinas proporcionalmente se concentren en la pared celular elevando la fracción PVIR.

Proteína insoluble (PI). No se manifiesta tendencia a que el FR influya sobre la PI (Cuadro 4). Otros autores^(23,24) tampoco encontraron que la fertilización con N afecte la PI. Aunque se reporta⁽²²⁾ disminución lineal de la fracción PI con fertilización nitrogenada. La época de “nortes” expresa disminución significativa de la PI sin estar asociada ésta al contenido de lignina. Se recuerda que parte de esta fracción está ligada a la lignina. Lo que sugiere que en lluvias y secas otros factores pudieran estar influyendo en la insolubilidad de la proteína, como son los enlaces cruzados con sustancias parecidas a los taninos⁽²⁵⁾ o reacciones de glucosilación o de Millard⁽²⁶⁾. Las cuales interfieren con las enzimas digestivas de la microbiota ruminal siendo esta fracción nitrogenada indisponible para el animal^(27,28). Otras fracciones nutricionales que no son sensibles a la interacción FR * época son la materia seca (MS) y los carbohidratos fibrosos (CF) del forraje.

Materia seca (MS). El contenido de MS no es sensible (22.0^a vs $22.7^a \pm 0.38$ para con y sin FR, respectivamente), pero si reacciona a la época del año con valores de 21.6^b , 20.1^b y $25.4^a \pm 0.49$ para lluvias, “nortes” y sequía respectivamente. En la época de sequía el contenido de MS de los pastos es mayor como manifestación del estado de deshidratación de la planta dado por el balance hídrico negativo que se presenta tanto en suelo como en el aire.

Carbohidratos fibrosos (CF). Los CF disminuyen con FR (54.5^b vs $55.5^a \pm 0.27$) probablemente porque fenológicamente los pastos están más inmaduros dado que la fertilización retrasa la maduración⁽⁵⁾, pero en lluvias se incrementan los CF en comparación con “nortes” y secas (58.3^a vs 52.9^b y $53.7^b \pm 0.35$ respectivamente) dado que en verano se acelera el metabolismo de los pastos C4 migrando los carbohidratos solubles hacia la pared celular⁽¹⁸⁾. El aporte de energía de los CF para el animal va a estar en función de su concentración y su potencial digestibilidad. El principal factor de indigestibilidad es la concentración de lignina. En la estación de lluvias se conjugan la mayor concentración de CF con menor proporción de lignina por tanto mayor cantidad de FDN digestible y mayor aporte de energía sin relevancia de la fertilización con nitrógeno (Cuadro 6). Pero durante las épocas “nortes” y sequía cuando el FR se recomienda hay caída significativa de la FDN digestible por acumulación de lignina como porcentaje de la FDN.

Composición bioquímica no proteica

Las cenizas. Se concentran más en los pastos sin FR particularmente en la época de “nortes” (Cuadro 5). Lo que implica que la concentración mineral no necesariamente pudiera estar asociado al nivel de hidratación de la planta sino a la disminución en la síntesis de nutrientes orgánicos, es decir menos materia orgánica. Asociado también a que en la época de “nortes” el rebrote de las plantas depende de la movilización de otros minerales presentes en el suelo y de la reserva de carbohidratos no estructurales en raíz.

El extracto etéreo. Se encuentra diluido en la época de lluvias en pastos con y sin FR. El exceso de humedad ambiental pudiera explicar este descenso en el EE al no requerir más cutina como protección contra la deshidratación eólica causada por los vientos fuertes del norte en la estación de “nortes” o la deshidratación por calor en sequía⁽¹⁸⁾.

La FDN. Es muy dinámica: en las lluvias de verano, sin limitaciones de agua, temperatura y radiación solar la acumulación de FDN es alta sin importar la fertilización ($P>0.05$); sin embargo, en la estación de “nortes” con menor disponibilidad de agua, menor temperatura y luminosidad que en las lluvias de verano, la concentración de FDN es más baja en pastos con FR como signo de retraso en su madurez; mismo fenómeno ocurre en la época de sequía con los pastos sin FR siendo la disponibilidad de agua y nitrógeno los factores limitantes.

La lignina. Respalda esta condición siendo más alta en los pastos más maduros como sucede en sequía con FR y en “nortes” sin FR.

Cuadro 5: Efecto de la interacción fertirriego (FR) y época del año sobre composición bioquímica no proteica (% MS)

Variable	Lluvias	Nortes	Sequía	EEM
CEN, con FR	9.3 ^d	11.1 ^b	10.6 ^{bc}	0.157
CEN, sin FR	10.3 ^c	12.7 ^a	10.9 ^b	
EE, con FR	2.7 ^c	3.7 ^a	3.1 ^b	0.096
EE, sin FR	2.7 ^c	3.0 ^b	3.2 ^b	
FDN, con FR	67.9 ^a	63.3 ^d	65.4 ^b	0.411
FDN, sin FR	67.4 ^a	65.2 ^{bc}	63.8 ^{cd}	
FDA, con FR	39.9 ^a	37.0 ^c	38.3 ^b	0.301
FDA, sin FR	39.5 ^a	38.3 ^b	35.8 ^c	
LIG, con FR	6.1 ^d	6.8 ^{bc}	7.9 ^a	0.175
LIG, sin FR	6.2 ^{cd}	7.4 ^{ab}	5.6 ^d	

EEM= error estándar de la media; CEN=cenizas; EE= extracto etéreo; FDN= fibra detergente neutra; FDA= fibra detergente acida; LIG= lignina.

^{abc} Literales diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($P<0.05$).

Fracciones de carbohidratos

Carbohidratos totales (CT). El mayor contenido de CT se presenta en lluvias independientemente del FR y coincide con mayor FDN y FDA en esta época (Cuadro 6). Van Soest⁽¹⁸⁾ menciona que bajo las condiciones de verano tropical con alta temperatura y precipitación los CT se acumulan en la pared celular. En “nortes” los CT disminuyen sin diferencia por FR pero los pastos con FR tienen menos FDN. Otros autores⁽²⁹⁾ reportan que los componentes fibrosos del forraje disminuyen con niveles crecientes de nitrógeno porque estimula el crecimiento de tejido nuevo, pero la época de sequía con FR tiene más FDN, FDA y lignina. Si bien el FR tiende a disminuir los CT, la época del año es la que modela este efecto al actuar sobre las fracciones de fibra. Los resultados aquí encontrados coinciden con los conceptos de Van Soest⁽¹⁸⁾ donde: en verano (lluvias) a mayor temperatura y precipitación, más CT y más FDN; en invierno (“nortes”) menor temperatura y precipitación, menos CT y menos FDN; y en primavera (sequía) con mayor temperatura y menor precipitación menos CT y más FDN.

Cuadro 6: Efecto de la interacción fertirriego (FR) y época del año sobre las fracciones de carbohidratos y de fibra (% MS)

Variable	Lluvias	Nortes	Seca	EEM
CT, con FR	72.1 ^{ab}	63.4 ^d	66.2 ^c	0.484
CT, sin FR	73.4 ^a	65.1 ^{cd}	70.7 ^b	
CNF, con FR	13.7 ^b	11.3 ^c	13.3 ^b	0.329
CNF, sin FR	15.2 ^a	11.3 ^c	16.2 ^a	
LIG, % FDN, con FR	9.5 ^c	11.5 ^b	13.1 ^a	0.297
LIG, % FDN, sin FR	9.6 ^c	12.1 ^{ab}	9.3 ^c	
FDN indigestible, con FR	14.7 ^d	16.2 ^{bc}	19.0 ^a	0.420
FDN indigestible, sin FR	14.8 ^{cd}	17.9 ^{ab}	13.4 ^d	
FDN digestible, con FR	49.8 ^a	42.6 ^c	41.9 ^c	0.617
FDN digestible, sin FR	49.6 ^a	43.5 ^c	46.7 ^b	

EEM= error estándar de la media; CT= carbohidratos totales; CNF=carbohidratos no fibrosos; CF=carbohidratos fibrosos; LIG=lignina; FDN=fibra detergente neutra.

^{abcd} Literales diferentes en la misma fila indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

Carbohidratos no fibrosos (CNF). Los CNF disminuyen en la época de “nortes” en la que la luz solar es menos intensa (Cuadro 6). Ya Oelberg⁽³⁰⁾ identificó que la luz solar afecta la cantidad de glucosa formada durante la fotosíntesis. Radiación solar alta como ocurre en verano (lluvias) y primavera (sequía) incrementa la tasa fotosintética promoviendo producción de CNF. La menor concentración de CNF en pastos con FR vs sin FR en lluvias y sequía se debe a que el FR favorece el crecimiento celular el cual estimula la elongación del tallo utilizando los CNF sintetizados en la formación de otros compuestos bioquímicos entre ellos proteínas solubles⁽¹⁹⁾. Dado que la disponibilidad de los CNF para los microbios

del rumen es casi completa, su contribución al aporte de energía para el rumiante estará en función de su concentración. En la época de sequía el FR impacta negativamente a los CT, los CNF, y a la FDN digestible. En la estación de “nortes” el FR no afecta a ninguna de las fracciones de carbohidratos. En resumen, el efecto del FR sobre las fracciones de carbohidratos es clima-dependiente como también lo encontró Rhaony *et al*⁽²²⁾ evaluando las fracciones de carbohidratos y proteínas en Marandu palisadegrass fertilizado con nitrógeno.

Conclusiones e implicaciones

Los pastos no fertilizados están expuestos y dependientes de las condiciones del suelo y del clima en ambiente tropical subhúmedo tipo Aw₁ para expresar el RMS inclusive en la estación lluviosa. La deficiencia nutricional relevante en estos pastos es que tienen menos PC, siendo la fracción proteica PVSR la más afectada. Con las prácticas de fertilización nitrogenada y el riego, el RMS, así como contenido y disponibilidad de las diferentes fracciones de carbohidratos y proteínas de los pastos tropicales responden de manera dinámica y sensible a las interacciones estacionales del medio ambiente tropical. La menor concentración de carbohidratos en las épocas de “nortes” y sequía se agrava con el FR al disminuir los CNF y la FDN digestible. En contraste las fracciones proteicas que son las primeras limitantes nutritivas particularmente la fracción PVSR se ven favorecidas en estos mismos períodos. Suelos tropicales bajos en nitrógeno requieren obligadamente fertilización nitrogenada. La producción forrajera no es suficiente para cubrir los requerimientos de consumo voluntario de materia seca de ganado genéticamente productivo por lo que se hace imprescindible suplementar con forraje todo el año. Siendo la proteína el primer nutrimento limitante se recomienda suplementar con subproductos agroindustriales proteicos ricos en proteína soluble o asociar los potreros con leguminosas para proporcionar nitrógeno tanto al ganado como al suelo. El fertirriego ahorra la suplementación forrajera durante todo el año. Aunque, es casi obligado asociar con leguminosas para disminuir la dosis de fertilizante y para aportar proteína verdadera soluble en rumen al ganado, pero balanceada con carbohidratos no fibrosos que aporten energía para maximizar la síntesis de proteína microbiana y hacer más eficiente y sustentable la producción bovina de becerros y leche.

Agradecimientos

Trabajo parcialmente financiado por el Megaproyecto “Mejoramiento de la productividad, competitividad y sustentabilidad de la cadena productiva de leche de bovino en México” con clave de registro: SAGARPA-CONACYT-2010-144591. Como parte del subproyecto UV “Tecnología de alimentación para mejorar la productividad de bovinos lecheros en pastoreo en el trópico mexicano” en su Etapa 1 “Caracterización del valor nutritivo de los forrajes tropicales según la estructura del CNCPS para ganado lechero en pastoreo en trópico mexicano”. Sección “Evaluación nutricional de pastos tropicales”.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

Literatura citada:

1. Millbank JW. Nitrogen in tropical soils. *East African Agric J* 1956;22(2):73-75. doi: 10.1080/03670074.1956.11665070.
2. Motasim AM, Samsuri AW, Abdul Sukor AS, Adibah AM. Nitrogen dynamics in tropical soils treated with liquid and granular urea fertilizers. *Agriculture* 2021;11(6). <https://doi.org/10.3390/agriculture11060546>.
3. Guerra-Medina CE, Ley-de Coss A, Reyes-Gutiérrez JA, Avendaño-Arrazate CH, Pérez-Vicente R, Montañez-Valdez OD. Crecimiento de *Pennisetum purpureum* cv. Taiwán con diferentes fuentes de fertilización en pastoreo con bovinos. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 2021; Núm. Esp. II: e2859. <https://doi.org/10.19136/era.a8nll.2859>.
4. Euclides VD, Montagner A. de Araújo, M. de Aragão, G. dos Santos Difante, IMM. de Araújo, LF. Barbosa. Biological and economic responses to increasing nitrogen rates in Mombaça guinea grass pastures. *Scientific Reports* 2022;12(1):1937. Nature Publishing Group. doi:10.1038/s41598-022-05796-6.
5. Salisbury FB, Ross CW. *Plant Physiology*. 4th. Ed. Pub. Wadsworth. Belmont California, USA: Publishing CO; 1992.
6. Méndez-Martínez Y, Reyes-Pérez JJ, Luna-Murillo RA, Verdecia DM, Rivero-Herrera M, Montenegro-Vivas LB, Herrera RS. Componentes del rendimiento y composición bromatológica de tres cultivares de *Megathyrus maximus* en la zona del Guayas, Ecuador. *Cuban J Agric Sci* 2019;53(4):2.
7. García E. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México. Universidad Nacional Autónoma de México.; 2004.
8. Muñoz-González JC, Huerta-Bravo M, Lara BA, Rangel SR, Rosa AJL, Muñoz-González JC, *et al.* Producción de materia seca de forrajes en condiciones de trópico húmedo en México. *Rev Mex Cienc Agríc* 2016;(33):29–41.
9. AOAC. Official methods of analysis of AOAC international. 19th ed. Assoc. Of. Anal. Chem., Arlington, VA.; 2012. <http://www.aoac.org> (Accessed Feb 15, 2020).
10. Licitra G, Hernandez TM, Van Soest PJ. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim Feed Sci Technol* 1996;57(4):347–358.

11. Vogel KP, Pedersen JF, Masterson SD, Troy JJ. Evaluation of a filter bag system for NDF, ADF and IVDMD forage analysis. *Crop Sci* 1999;39:276–279.
12. Goering HK, Van Soest PJ. Forage fiber analyses: (apparatus, reagents, procedures, and some applications). Washington, D.C: Agricultural Research Service, U.S.D.A. 1970.
13. SAS Statistical Analysis System. SAS Release 9.1 for Windows, SAS Institute INC. Cary, NC, USA; 2003.
14. De Dios-León GE, Ramos-Juárez JA, Izquierdo-Reyes, Joaquín-Torres FBM, Meléndez-Nava F. Comportamiento productivo y valor nutricional del pasto *Pennisetum purpureum* cv Cuba CT-115, a diferente edad de rebrote. *Rev Mex Cienc Pecu* 2022;13(4):1055-1066. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i4.5217>.
15. Juárez-Lagunes FI, Fox DG, Blake RW, Pell AN. Evaluation of tropical grasses for milk production by dual-purpose cows in tropical Mexico. *J Dairy Sci* 1999;82(10):2136-2145.
16. Juárez-Lagunes FI, Pell AN, Blake RW, Montero-Lagunes M, Pinos-Rodríguez JM. *In vitro* ruminal degradation of neutral detergent fiber insoluble protein from tropical pastures fertilized with nitrogen. *Rev Mex Cienc Pecu* 2018;9(3):588-600.
17. Juárez J, Bolaños ED, Vargas LM, Medina S, Martínez-Hernández PA. Curvas de dilución de la proteína en genotipos del pasto *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick. *Rev Cubana Cienc Agr* 2011;45(3):321-331.
18. Van Soest PJ. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd ed. Ithaca, NY, USA: Cornell University Press; 1994.
19. Johnson CR, Reiling BA, Mislavy P, Hall MB. Effects of nitrogen fertilization and harvest date on yield, digestibility, fiber, and protein fractions of tropical grasses. *J Anim Sci* 2001;79:2439–2448.
20. McRoberts KC, Parsons D, Ketterings QM, Hai TT, Quan NH, Ba NX, *et al*. Urea and composted cattle manure affect forage yield and nutritive value in sandy soils of south-central Vietnam. *Grass Forage Sci* 2018;73:132–145.
21. Ruggieri AC, da Silva CA, Ongaratto F, Rume CD, Pavezzi BR, de Figueiredo BL, *et al*. Grazing intensity impacts on herbage mass, sward structure, greenhouse gas emissions, and animal performance: Analysis of *Brachiaria* pastureland. *Agronomy-Basel* 2020;10:1750.
22. Gonçalves LR, da Silva CA, Vilas BA, Fonseca NVB, Curvelo MLS, Orlindo TL, Maneck DL, *et al*. Effects of nitrogen fertilization on protein and carbohydrate fractions of Marandu palisadegrass. *Scientific Reports* 2021;11:14786.

23. Rogers JR, Harvey RW, Poore MH, Mueller JP, Barker JC. Application of nitrogen from swine lagoon eluent to bermudagrass pastures: seasonal changes in forage nitrogenous constituents and effects of energy and escape protein supplementation on beef cattle performance. *J Anim Sci* 1996;74:1126–1133.
24. Santos CB, Costa KADP, Souza WFD, Epifanio PS, Santos HS. Protein and carbohydrates fractionation in *Paiaguas palisadegrass* intercropped with grain sorghum in pasture recovery. *Acta Sci* 2019;41:1–8.
25. Kishor PBK, Hima Kumari P, Sunita MSL, Sreenivasulu N. Role of proline in cell wall synthesis and plant development and its implications in plant ontogeny. *Frontiers Plant Sci* 2015; 6:1-17.
26. Lamport DTA, Kieliszewski MJ, Chen Y, Cannon MC. Role of the extensin superfamily in primary cell wall architecture. *Plant Physiol* 2011;156:11-19.
27. Tedeschi LO, Fox DG. The ruminant nutrition system: volume I - an applied model for predicting nutrient requirements and feed utilization in ruminants. 3rd ed. XanEdu 2020a:1–150
28. Tedeschi LO, Fox DG. The ruminant nutrition system: volume II - tables of equations and coding. 3rd ed. XanEdu 2020b:88–102.
29. Renato DiL, Gonçalves de AJ, da Silva CL, Behling NA, Mendes FML, *et al.* Nitrogen fertilization of *Marandu palisadegrass* under different periods of deferment. *J Exp Agric Int* 2019;34:1–8.
30. Oelberg K. Factors affecting the nutritive value of range forage. *J Range Management* 1956;9:220–225.