

EFFECTOS DE LA QUEMA SOBRE EL CICLO DEL FOSFORO EN UNA SABANA DE *TRACHYPOGON*

BURNING EFFECTS ON P CYCLING IN A *TRACHYPOGON* SAVANNA

Ismael Hernández-Valencia y Danilo López-Hernández.

*Instituto de Zoología Tropical, Universidad Central de Venezuela,
Apdo. Postal 47058, Caracas 1041-1, Venezuela. E-mail: ihernand@strix.ciens.ucv.ve*

RESUMEN

Las sabanas de *Trachypogon* son uno de los ecosistemas más extendidos del norte de Suramérica. Se caracterizan por el predominio de una cubierta herbácea de gramíneas y ciperáceas sobre suelos ácidos de baja fertilidad natural. El uso más común de estas sabanas es el desarrollo de la ganadería extensiva, razón por la cual se realiza la quema de vegetación como una forma de manejo que permite renovar la producción de pastos con mayor valor nutritivo. El presente trabajo evaluó el efecto de la quema sobre el ciclaje de fósforo, uno de los bioelementos considerados esenciales en la productividad vegetal de estas sabanas. Los resultados indican que aproximadamente $1,1 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ se pierde por la dispersión de las cenizas en la atmósfera lo cual no es restituido por la precipitación ($0,5 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). Adicionalmente, comparaciones entre los contenidos de P en el suelo indican que existe un mayor contenido del mismo en las sabanas protegidas de la quema y el pastoreo por 32 años. Los datos obtenidos también permiten inferir que en ausencia de quema y en condiciones de baja carga de pastoreo ($0,2$ unidades animales ha^{-1}), el balance de fósforo se mantendría estable.

Palabras clave: *Trachypogon*, sabana, fósforo, quema

ABSTRACT

The *Trachypogon* savannas are one of the most widespread ecosystems of northern South America. They are characterized by the dominance of a herbaceous layer of graminiae and cyperacea on acidic soils of low natural fertility. The most common use of those savannas are the extensive cattle raising and for this reason the burning of the vegetation allows to renew forage production in order to increase its nutritional content. The present study assessed the effect of burning on phosphorus cycling, one of the essential bioelements controlling primary production on this savannas. The results showed that approximately 1.1 kg P ha^{-1} is lost due to ash dispersion to the atmosphere, and this amount is not restituted by precipitation ($0.5 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$). On the other hand, a comparison between P content in soils indicates a higher concentration in savannas protected during 32 years of burning and grazing. The data also suggest that in absence of fire and under conditions of low cattle density (0.2 animal unit ha^{-1}), the phosphorus balance will reach a steady state.

Key words: *Trachypogon*, savanna, phosphorus, burning

INTRODUCCION

Las sabanas de *Trachypogon* son uno de los ecosistemas más extendidos del norte de Suramérica. Se caracterizan por la presencia de una cubierta herbácea dominada por gramíneas y ciperáceas sobre suelos ácidos con baja fertilidad natural y en donde los elementos leñosos se encuentran dispersos o ausentes (Ramia 1967). Las condiciones nutricionales de los suelos y la marcada estacionalidad climática generan una baja productividad vegetal de los pastos nativos y un bajo

contenido nutricional de los mismos, razón por la cual se aplica la quema de vegetación para renovar la producción de pastos más palatables y de mayor contenido proteico para el ganado. Pese a la extensión e importancia económica de las sabanas de *Trachypogon*, a la fecha son escasos los estudios sobre ciclaje de nutrientes en estas sabanas y en especial el efecto de la quema sobre el balance nutricional de estos ecosistemas. El fuego ha sido reconocido como un factor ecológico

primordial en el mantenimiento de las sabanas (Medina y Silva 1990) y puede ser responsable de la pérdida de nutrientes por volatilización y dispersión de cenizas. El presente trabajo evalúa el efecto de la quema sobre el ciclaje de P, uno de los elementos esenciales, no solo por su papel directo en la producción vegetal, sino también por su incidencia en la fijación biológica de N₂, otro elemento clave en la producción de materia orgánica de estos ecosistemas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Area de estudio

El estudio fue realizado en una sabana de *Trachypogon* bajo quema y pastoreo por lo menos en los últimos 10 años, localizada a 8 km al sur de Calabozo (Edo. Guárico), adyacente a la Estación Biológica de Los Llanos de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales (8° 56' N y 67° 25' O). El área estudiada presenta una temperatura promedio de 27,5° C y una precipitación promedio anual de 1.149 mm, concentrada en un 75% entre los meses de mayo a octubre (Hernández-Valencia 1996). Los muestreos fueron realizados en una parcela de 2 ha, en donde *Trachypogon plumosus* era la especie dominante con más de un 95% de cobertura.

Métodos

Muestras de suelos (0-30 cm), biomasa vegetal (aérea), precipitación (seca y húmeda) y lixiviados (debajo de los primeros 30 cm de suelo) fueron colectadas mensualmente. Adicionalmente, se

hicieron estimaciones de las tasas de desaparición del material seco en pie y sobre el suelo con el uso de bolsas de descomposición (Wiegert y Evans 1964) y del consumo de pastos por el ganado a través de parcelas de exclusión. La deposición de cenizas luego de la quema fue determinada con el uso de bandejas de aluminio colocadas al azar en el suelo y retiradas inmediatamente del paso del fuego. La determinación de P en las muestras se realizó con el método de Murphy y Riley (1962). Los procedimientos anteriormente mencionados son descritos con mayor detalle por Hernández-Valencia (1996).

Toda esta información fue usada para describir el flujo de P como: a) entradas por precipitación, b) pérdidas a través de lixiviación, dispersión de cenizas y extracción de ganado y c) contenidos y flujos de P en la materia vegetal. Las entradas y salidas de P por precipitación y lixiviación respectivamente, fueron calculadas con el modelo de balance hídrico de Thornthwaite y Matter (1957), mientras que los flujos en la biomasa fueron estimados usando el modelo de Bulla *et al.* (1981).

RESULTADOS

Flujo de P en la biomasa epigea

Posterior a la quema y con el inicio de la época de lluvias ocurre una acumulación progresiva de P en los tejidos vegetales aéreos, especialmente en el material fotosintéticamente activo. Luego con el inicio de la temporada seca y el consecuente incremento de la mortalidad de hojas, la fracción seca constituye el mayor compartimiento de

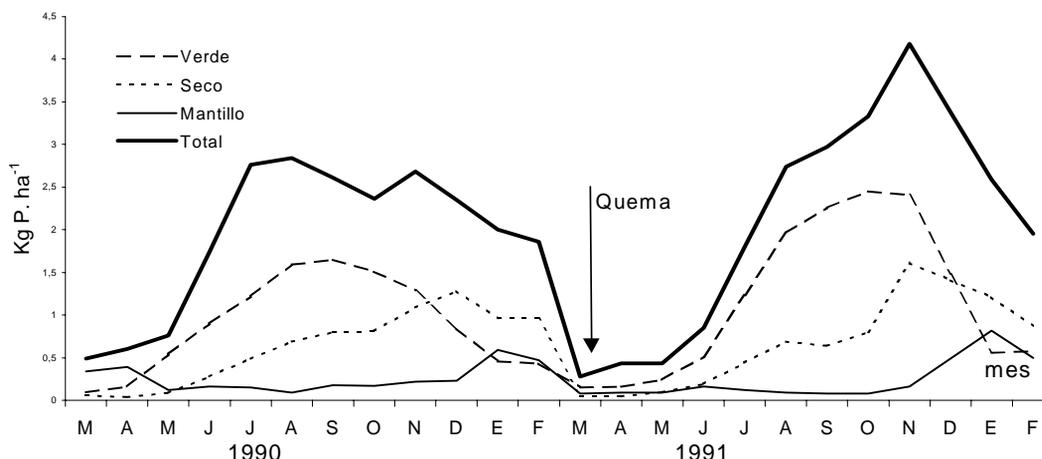


Figura 1. Variaciones temporales en el contenido de P acumulado en la biomasa aérea, sabana de *Trachypogon*, estado Guárico, Venezuela.

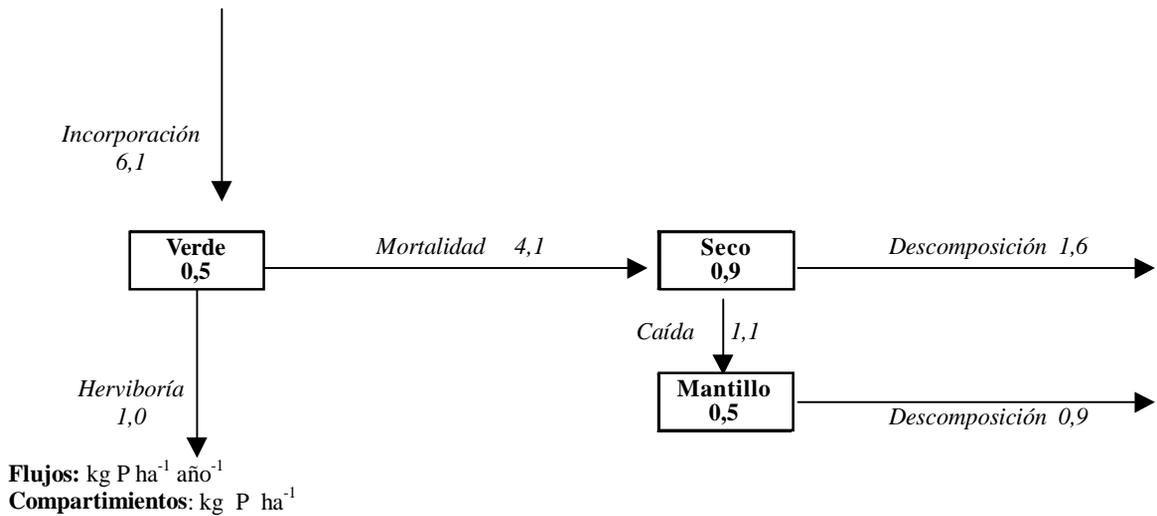


Figura 2. Flujo anual de P en la biomasa aérea, sabana de *Trachypogon*, estado Guárico, Venezuela.

acumulación de P (Figura 1). La cantidad de P acumulada en la biomasa aérea se correlaciona con la acumulación de materia orgánica (Hernández-Valencia 1996), con un máximo de 3,4 kg P ha⁻¹ al final de la época de lluvias para luego decaer a 1,9 kg P ha⁻¹ en las fechas previas a la quema.

El flujo promedio anual de P en la biomasa aérea para los dos años de estudios se muestra en la Figura 2. La producción de biomasa aérea requirió de 6,1 kg P ha⁻¹ año⁻¹, de los cuales 1,0 kg P ha⁻¹ año⁻¹ fueron consumidos por el ganado. De la cantidad remanente 4,1 kg P ha⁻¹ año⁻¹, se transfirieron al material seco en pie y de ellos 1,1 kg P ha⁻¹ año⁻¹ se incorporaron al mantillo. Del material seco en pie, 1,6 kg P ha⁻¹ año⁻¹ fueron liberados por descomposición, mientras que del mantillo lo hicieron 0,9 kg P ha⁻¹ año⁻¹.

Estos resultados indican que aproximadamente un 40% del P asimilado por la biomasa aérea es reintegrado al sistema por los procesos de descomposición natural, mientras que el remanente queda expuesto a la acción del fuego. En sabanas no sometidas a quema, los aportes de P por descomposición deben ser mayores debido a la mayor acumulación de materia seca (mantillo y seco en pie), e incluso podría esperarse que los procesos de asimilación y liberación de P por descomposición se encuentren en equilibrio.

Pérdidas de P por quema de vegetación

La Tabla 1 resume los contenidos de P en los tejidos vegetales aéreos. Se observa que para la

fecha previa a la quema, 1,9 kg P ha⁻¹ se encuentran en esta fracción y en su mayor parte en la biomasa seca. La quema es de una eficiencia muy alta, ya que más del 97% de la materia orgánica y aproximadamente 92% del P contenido en ella es liberado a la atmósfera. Del fósforo liberado a la atmósfera, 0,6 kg P ha⁻¹ se depositan en el suelo como cenizas; sin embargo, hay que destacar que este es uno de los valores más difíciles de estimar, ya que el viento puede lograr la resuspensión de las cenizas y en consecuencia se sobrestima el valor real de este aporte. La pérdida neta de P por quema de vegetación fue de 61,1%, similar a lo reportado por Coutinho (1988) para la vegetación de "cerrado" del Brasil.

Aportes de P por la precipitación y salidas por lixiviación

Los aportes de P por precipitación pueden venir por dos vías: a) la precipitación húmeda en donde la lluvia arrastra las partículas en suspensión que se encuentran en la atmósfera, b) la precipitación seca, la cual ocurre por la deposición de las partículas suspendidas en la atmósfera. En el presente estudio, ambas vías pueden ser importantes, ya que la quema es una práctica frecuente y extendida en la región y ellas generan cenizas que son dispersadas por el viento y que luego son depositadas por los dos tipos de precipitación. Los aportes de P registrados por esta vía fueron de 0,5 kg P ha⁻¹ año⁻¹, similar a los registrados por Montes y San José (1987) para la

EFECTOS DE LA QUEMA SOBRE CICLO DEL FÓSFORO

Tabla 1. Biomasa y contenido de fósforo en la vegetación (fracción aérea) antes y después de la quema, sabana de *Trachypogon*, estado Guárico, Venezuela.

	Verde	%	Seco	%	Mantillo	%	Total
Biomasa (g m⁻²)							
Previa quema	53,2	16,6	242,9	75,8	24,3	7,6	320,4
Post quema	0,8	7,7	4,0	38,5	5,6	53,8	10,4
Salida por quema : 310 g m ⁻² = 96,8%							
Fósforo (kg ha⁻¹)							
Previa quema	0,4	23,2	1,00	51,9	0,5	24,9	1,9
Post quema	0,0	7,1	0,0	14,3	0,1	78,6	0,1
Salida por quema: 1,7 kg ha ⁻¹ = 92,4%							
Aportes de P por deposición de cenizas						0,6 Kg P ha ⁻¹	
Porcentaje de pérdida neta de P						61,1%	

misma localidad e inferiores a los presentados por López-Hernández (1995) para sabanas de Mantecal, Estado Apure. Es claro a partir de estos resultados que las pérdidas por quema no son restituidas por la precipitación.

Los suelos del área de estudio se caracterizan por ser ácidos y con alta capacidad de fijación de P (Hernández-Valencia 1996), sin embargo, también son suelos bien drenados, de textura franco-arenosa y es posible que parte del P del suelo sea lavado fuera del área de mayor actividad radical (> 30 cm). A ello se agrega que la disminución de la cobertura vegetal por la quema puede aumentar el flujo de agua a través del perfil del suelo. Las salidas estimadas de P fueron de 0,3 kg P ha⁻¹ año⁻¹, ligeramente inferiores a los aportes de la precipitación. Desafortunadamente, existen pocos registros en la literatura que permitan comparaciones con ecosistemas similares, aunque

en ecosistemas boscosos (templados y tropicales) se han reportado salidas entre 0,2 a 0,7 kg P ha⁻¹ año⁻¹ (Jordan 1982).

Cambios en el contenido de P en el suelo de sabanas protegidas y no protegidas de la quema y el pastoreo

Si la quema produce invariablemente pérdida de nutrimentos por volatilización o transferencia convectiva de cenizas, es posible pensar que el suelo refleje esta condición, en virtud de la reducción de los aportes de materia orgánica. La Estación Biológica de los Llanos representó una oportunidad única para verificar esta hipótesis, ya que sus terrenos han sido protegidos de la quema y el pastoreo durante 32 años (o bien han ocurrido en una frecuencia muy baja). Entre los resultados más importantes destacan un mayor contenido de P total, P orgánico y P disponible en las sabanas protegidas

Tabla 2. Contenido de fósforo total y disponible en sabanas protegidas y no protegidas (ug g⁻¹), sabana de *Trachypogon*, estado Guárico, Venezuela.

	Sabana protegida	Sabana no protegida
P total	165,0 (8,3)a	145,2 (7,7)b
P disponible (Olsen y Sommers 1982)	4,2 (0,6)c	2,9 (0,4)d
P orgánico (Bowman y Cole 1978)	54,6 (4,2)e	46,4 (5,4)g

*Valores en paréntesis corresponden a la desviación estandar

** Letras diferentes indican diferencias significativas en las medias (t student, p< 0,05 para P total, ANOVA p<0,05 para P disponible).

Tabla 3. Balance de fósforo en las sabanas de *Trachypogon* bajo estudio (Kg P ha⁻¹ año⁻¹), estado Guárico, Venezuela.

	Entradas	Salidas	Balance neto
Precipitación	0,5		
Lixiviados		0,3	
Extracción de vacunos		0,1	
Quema		1,1	
Balance neto			- 1,0

(Tabla 2). Los mayores contenidos de estas fracciones de P pueden estar asociados a factores tales como: 1) Pérdidas de P por dispersión de cenizas y consumo de vegetación por herbivoría en las sabanas bajo quema y pastoreo, 2) Mayores aportes de materia orgánica y nutrimentos al suelo en las zonas protegidas, lo cual favorece también la menor adsorción de P en la matriz de intercambio y, 3) La mayor densidad de árboles en las sabanas protegidas permite incorporar a la hojarasca, parte del P liberado por meteorización en zonas más profundas del suelo. Las raíces de los árboles pueden absorber fósforo que ha sido lixiviado desde el estrato radical herbáceo, mientras que su follaje puede actuar como trampa de las cenizas producidas en las zonas quemadas y que posteriormente son lavadas e incorporadas al suelo por la precipitación (Kellman 1979).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El balance general de P del sistema se presenta en la Tabla 3 y refleja una pérdida neta de 1,0 kg ha⁻¹ año⁻¹, cantidad que constituye menos del 0,1% del capital del P del sistema, un 8,2% del P disponible del suelo y un 0,4 % de todas las fuentes de P lábiles del suelo (Hernández-Valencia 1996). Las salidas de P por extracción de vacunos fueron calculadas sobre la base de la densidad de carga de bovinos que poseen estas sabanas (0,2 unidades animales ha⁻¹, aproximadamente 80,0 kg ha⁻¹), la tasa de extracción para sacrificios (8 kg ha⁻¹ año⁻¹) y la concentración de P en los tejidos (Hernández-Valencia 1996). Un punto de discusión es la variabilidad asociada a este valor de pérdida neta de P en este sistema, ya que dependiendo del error asociado a este cálculo podría considerarse que las pérdidas son insignificantes y el sistema es balanceado respecto al P. En lo que respecta a las entradas, los aportes por precipitación mostraron

ser bastante consistentes con los resultados obtenidos por Montes y San José (1987) en un período de tres años, de manera que en este punto es baja la variación asociada. En lo que se refiere a las salidas, la quema de vegetación es el factor que produce las mayores pérdidas que pudieran revertir el balance. Desafortunadamente no hay a la fecha un método confiable que permita establecer los aportes reales por esta vía.

Estos resultados indican que bajo el manejo de quema y pastoreo ocurre una merma en el capital de P de las sabanas estudiadas, que fueron confirmados por las diferencias en los contenidos de P en el suelo respecto a sabanas no sometidas a este manejo. Sin embargo, las pérdidas pueden considerarse de baja magnitud si son comparadas con otros agroecosistemas e incluso son similares a las reportadas para algunos ecosistemas naturales (Likens *et al.* 1977). Dichas pérdidas podrían atenuarse con la prolongación de los intervalos de quema (quemadas bianuales o trianuales) o bien con la adición de fertilizantes, lo cual requeriría poca cantidad de los mismos, con un costo relativamente bajo y que permitiría finalmente una mayor sustentabilidad de esta práctica.

LITERATURA CITADA

- BOWMAN, R. A. y C.V. COLE. 1978. An exploratory method for fractionation of organic phosphorus from grassland soils. *Soil Science* 125(2):95-101.
- BULLA, L., J. PACHECO y R. MIRANDA. 1981. A simple model for the measurement of primary production in grasslands. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales*. 139:281-304.
- COUTINHO, L. M. 1988. Influencia del fuego en el cerrado del Brazil. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales* 145:61-83.
- HERNANDEZ-VALENCIA, I. 1996. Dinámica del fósforo en una sabana de *Trachypogon* de los Llanos Altos Centrales. Tesis Doctoral. Universidad Central de

EFFECTOS DE LA QUEMA SOBRE CICLO DEL FÓSFORO

- Venezuela. 179p.
- JORDAN, C. F. 1982. The nutrient balance of an amazonian rain forest. *Ecology* 63:647-654.
- KELLMAN, M. 1979. Soil enrichment by neotropical trees. *Journal of Ecology*. 67:565-577.
- LIKENS, G. E., F.H. BORMANN, R.S. PIERCE, J.S. EATON y N.M. JOHNSON. 1977. Biogeochemistry of a forested ecosystem. Springer-Verlag. Nueva York.
- LÒPEZ-HERNÁNDEZ, D. 1995. Balance de elementos en una sabana inundada. Mantecal, Estado Apure, Venezuela. *Acta Biológica Venezolana* 15:55-88.
- MEDINA, E. y J. SILVA. 1990. Savannas of Northern Southamerica: A steady state regulated by water and fire interactions on a background of low nutrient availability. *Journal of Biogeography* 17:403-413.
- MONTES, R. y J.J. SAN JOSE. 1987. Flujo de nutrientes en un bosque de la sabana de *Trachypogon* de los Llanos del Orinoco: Precipitación y lavado foliar. Pp. 254-279, *in* La capacidad bioproductiva de sabanas. San José, J.J. y Montes, R. (ed.). Centro Internacional de Ecología Tropical. Unesco/CIET.
- MURPHY, J. y J. P. RILEY. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta* 14:318-319.
- OLSEN, S. R. y L.E. SOMMERS. 1982. Phosphorus. Pp. 403-430, *in* Page, A. L., Miller, R. H. Y Keeney. *Methods of soil analysis. Part 2: Agronomy* 9.
- RAMIA, M. 1967. Tipos de sabanas en los Llanos de Venezuela. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales* 37:264-268.
- THORNTHWAITE, W. C. y J.R. MATTER. 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and water balance. *Publications in Climatology. Volume X 3*. New Jersey.
- WIEGERT, R. G. y F.C. EVANS. 1964. Primary production and disappearance of dead vegetation on an old field in south eastern Michigan. *Ecology* 45(1):49-63.

Recibido: junio 1998; aceptado: julio 1999