

EFECTO DE LA QUEMA PRESCRITA EN EL VALOR NUTRICIONAL DE TALLOS AÉREOS DE *Schoenoplectus tatora* (Kunth) Palla, LAGO TITICACA, PERÚ

Alfredo Loza-Del Carpio¹ y Bernardo Roque-Huanca²

RESUMEN

La quema prescrita de totorales es una práctica frecuente en zonas litorales del lago Titicaca para eliminar biomasa senescente, obtener brotes tiernos y mejorar la calidad nutritiva como forraje. Por ello, el objetivo del estudio fue determinar el efecto de estas quemaduras en el valor nutricional de tallos aéreos de totora, a través de análisis proximales, comparando totorales con y sin quema, en tres períodos fenológicos de la planta (rebrote, crecimiento y madurez). Para evaluar los efectos de los tratamientos se sometieron los datos a un Anova, bajo arreglo factorial 2*3 (con/sin quema, y tres períodos) y pruebas de Tukey. El contenido de materia seca en totorales con quema incrementó significativamente ($P \leq 0,05$) en relación a totorales sin quema (27,02 vs. 21,22 %), alcanzando aún mayores valores durante el rebrote y madurez. Similarmente la fibra cruda tuvo un aumento significativo con la quema consecutiva (30,04 vs. 28,13 %), con mayores concentraciones durante el crecimiento y madurez, mientras que la proteína cruda disminuyó por efecto del fuego a partir del período de crecimiento (7,34 vs. 10,14 %), aunque con una transitoria superioridad durante el rebrote (9,28 vs. 6,87 %) respecto al total sin quema ($P \leq 0,05$). La quema prescrita consecutiva afectó la calidad forrajera de culmos de totora, disminuyendo los niveles de proteínas, nutrientes de alto valor biológico, pero propiciando incremento en materia seca y fibra, lo que podría repercutir en su adecuada digestibilidad.

Palabras clave adicionales: Forraje, fuego, nutrientes, Titicaca, totorales

ABSTRACT

Effect of prescribed burning on the nutritional value of aerial *Schoenoplectus tatora* stems, Lake Titicaca, Peru.

Prescribed burning of cattails is a frequent practice in coastal areas of Lake Titicaca in order to eliminate senescent biomass and obtain tender shoots with better nutritional quality as forage. Therefore, the objective of this study was to determine effects of the nutritional value of aerial cattail stems, through proximal analyzes, after burning for two consecutive years, comparing with cattails without burning for five years, in three phenological periods (sprouting, growth, and maturation). The treatments had a factorial arrangement 2*3 (with/without burning, and three periods), and the resulting data were submitted to Anova and Tukey's test. Dry matter in cattails with burning increased significantly ($P \leq 0,05$) in relation to cattails without burning (27,02 vs. 21,22 %), achieving even higher values during sprouting and maturity. Similarly the crude fiber had significant increase with consecutive burning (30,04% \pm 2,81 vs. 28,13% \pm 2,06), with higher concentrations during growth and maturity, while crude protein decreased due to effect of fire from growth period (7,34 % vs. 10,14 %), although with superiority ephemeral during sprouting (9,28 % vs 6,87 %) regarding cattail without burning ($P \leq 0,05$). Consecutive prescribed burning affected the forage quality of cattail culms, reducing levels of proteins, nutrients of high biological value, but favoring an increase in dry matter, and fiber, which could affect their proper digestibility.

Additional keywords: Cattails, fire, forage, nutrients, Titicaca

INTRODUCCIÓN

El lago Titicaca constituye uno de los recursos hídricos más importantes del Perú y un ecosistema acuático tropical de altura que mantiene una particular biodiversidad, entre las que destaca

Schoenoplectus tatora (Kunth) Palla “totora” la cual cubre unas 26.640 ha en el sector peruano (PELT, 2000) y conforma la estructura biótica para otras formas de vida; además, esta macrófita provee múltiples beneficios socioeconómicos a las poblaciones humanas que habitan en sus

Recibido: Noviembre 22, 2021

Aceptado: Julio 13, 2022

¹ Instituto de Investigaciones en Ciencias Ambientales, Salud y Biodiversidad, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. e-mail: aloza@unap.edu.pe (autor de correspondencia)

² Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Puno, Perú. e-mail: beroqueh@yahoo.es

inmediaciones, como en la construcción de viviendas, embarcaciones, elaboración de artesanías, alimentación humana (RNT, 2002) y demás servicios ecosistémicos indirectos. Sin embargo, su uso más generalizado es como forraje para ganado, acudiendo a las zonas litorales cientos de productores para cosechar tallos verdes, incluso ingresan su ganado para pastoreo directo en períodos de bajo nivel del lago, posibilitando que la actividad pecuaria en estas áreas sea la más productiva de la región (Roque et al., 2003; Goyzueta et al., 2009). Por ello, se requiere de estrategias que conlleven a su manejo sostenible, fundamentadas en estudios que las respalden y validen además las actuales formas de uso para evitar prácticas que pongan en riesgo estos beneficios o transgredan la integridad del ecosistema.

Una práctica de manejo de este recurso, concebida a veces como tradicional, es la quema de totorales durante la época de senescencia o en períodos de secano, que incluyen principalmente los meses de septiembre y octubre (Moreau y Le Toan, 2003), cuya finalidad es eliminar tallos secos, propiciar mayor productividad y un rápido rebrote de plantas de mejor calidad, aprovechables luego para la alimentación ganadera (RNT, 2002; Goyzueta et al., 2009). Sin embargo, este manejo ha originado controversias con respecto a sus beneficios y perjuicios, tanto para el ecosistema como para los usuarios de este recurso.

Se reconoce que el fuego puede ser fundamental para numerosas especies vegetales y hábitats, pero también altamente destructivo para otras, respondiendo cada especie y tipo de hábitat de manera particular a este factor (Augustine et al., 2010, Twidwell et al., 2012), incluyendo el efecto en su posterior composición química y nutricional (Hernández y López, 2002; Weir et al., 2011). En algunos casos la quema prescrita puede incrementar los niveles de nutrientes en las plantas (Gul et al., 2014) y en otros reducirlas, especialmente en sus niveles proteicos (Mbatha y Ward, 2010), pero también se reporta que los efectos no solo dependen de la especie o el hábitat, sino también de la frecuencia, la intensidad y el momento de la quema (estación o período fenológico) (Klop et al., 2009; Augustine et al., 2010); aunque la mayoría de estudios al respecto fueron llevados a cabo en ecosistemas de pastizales o bosques, siendo muy limitados los

estudios en macrófitas acuáticas e inexistentes en ecosistemas altoandinos.

Por ello se requiere definir los efectos de las quemadas en su posterior calidad nutritiva de los culmos de totora, recurso ampliamente utilizado como forraje y de un valor socioeconómico trascendental para las poblaciones rurales asentadas en las riberas del Titicaca, no sólo por sus elevadas productividades en biomasa, sino también por su importante valor nutricional (Roque et al., 2003), donde el uso inadecuado del fuego podría restringir estos beneficios, afectando la actividad pecuaria en una de las zonas agroecológicas más productivas del altiplano de Puno, por sus especiales condiciones microclimáticas y por poseer recursos forrajeros alternativos en la época de estiaje, como la totora (Vacher et al., 1991). Adicionalmente, es posible que estas quemadas comprometan a la biodiversidad lacustre y tengan efectos ambientales perjudiciales para las sociedades humanas.

Según ese contexto, se plantea determinar los efectos de dos condiciones de manejo prescrito del fuego (quema por dos años consecutivos y sin quema por cinco años) en el contenido nutricional de tallos aéreos de totora en el ámbito del lago Titicaca, priorizando la premisa que las quemadas propician posteriores rebrotes y plantas con mejor calidad nutricional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ámbito de estudio. Se obtuvieron muestras de tallos aéreos de totora, desarrollados post quema, en la localidad de Chucuito, Puno, zona litoral del sector noroeste del lago Titicaca, bajo una frecuencia de quema prescrita por dos años consecutivos, en totorales de 1,1 ha en el primer año y 1,8 ha en el segundo (15°53'12" S; 69°53'02" W), comparando con totorales de una parcela sin quema por cinco años (15°53'14" S; 69°52'59" W). El fuego fue aplicado por los mismos usuarios usando antorchas en los meses de septiembre y octubre del 2015 y 2016, respectivamente. Cuando el totoral se encontraba senescente, la profundidad del lago no superaba los 5 cm y casi la totalidad de los tallos aéreos estaban emergentes. Posterior a la quema, de ambos totorales se extrajeron muestras de tallos verdes rebrotados durante los meses de noviembre del 2016, febrero (crecimiento vegetativo) y mayo

(madurez) del año 2017, abarcando las épocas climáticas de transición, época lluviosa y seca

respectivamente (Cuadro 1). La ubicación del ámbito evaluado se detalla en la Figura 1.

Cuadro 1. Características ambientales durante los muestreos de culmos de totora.

Época/período fenológico	Precipitación total (mm)	Temperatura media (°C)	Profundidad media del agua (cm)
Transición/rebote (noviembre)	45	10,6	6,2
Lluviosa/crecimiento (febrero)	146	10,2	11,7
Seca/madurez (mayo)	9	7,3	19,7

Fuente: SENAMHI (2020)

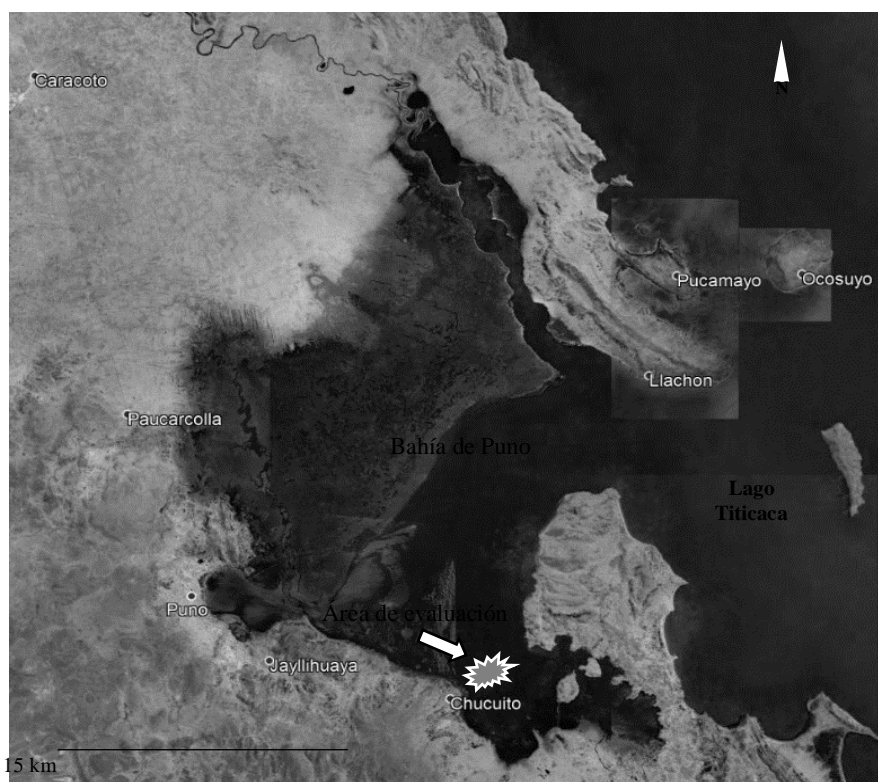


Figura 1. Ubicación del área de evaluación de totorales en el ámbito del lago Titicaca, Puno, Perú. Fuente Google Earth (2020)

Muestreos y análisis. Para los muestreos se utilizó un cuadrante (tubos de PVC) de 50 cm de lado dispuesto aleatoriamente en tres lugares diferentes de la parte central de cada totoral, extrayendo de su interior 10 tallos aéreos, trozados en segmentos de 10 cm y colocados luego en bolsas plásticas de 1 L de capacidad. Los tallos muestreados tuvieron una longitud de 40 a 200 cm aproximadamente, dependiendo del período fenológico y se desarrollaron a profundidades promedio de 6,2 cm durante el rebote y 19,7 cm en la madurez. Las muestras (tallos maduros)

fueron debidamente rotuladas y llevadas al Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Altiplano Puno, para su análisis proximal que incluyó determinaciones de materia seca, cenizas, proteína cruda, grasa cruda, fibra cruda y carbohidratos totales, según procedimientos oficiales de la AOAC (2005).

Se consideraron tres réplicas por cada período fenológico de muestreo para obtener un total de nueve repeticiones por cada tratamiento (quema y sin quema) y por cada variable nutricional; los

datos se procesaron bajo un análisis de varianza con un arreglo factorial 2*3 (con y sin quema, y tres períodos fenológicos), cuyas medias se compararon mediante la prueba de Tukey al encontrarse diferencias significativas ($P \leq 0,05$). Adicionalmente, se realizaron pruebas de correlación de Pearson entre variables nutricionales para identificar posibles niveles de asociación entre ellas. Cuando los datos no cumplieron los supuestos de homogeneidad de varianzas o normalidad (con las pruebas de Levene y Shapiro Wilk), se realizaron transformaciones $\sqrt{x+0,5}$. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el Programa SPSS v27.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se observa que las dos condiciones de quema en el totoral evidenciaron diferencias significativas en los contenidos de materia seca, proteína cruda, fibra cruda y cenizas, las cuales dependieron, además, del período fenológico de la planta y de las interacciones entre los factores. No se detectó efecto de la quema sobre los contenidos de grasa cruda y carbohidratos totales, donde el fuego consecutivo no propició cambios relevantes.

Cuadro 2. Significancia del arreglo factorial 2*3 para las variables nutricionales en culmos de totora por período fenológico y condición de quema

Variable	Fuente de variabilidad	gl	F	Probabilidad (P)
Materia seca	Período fenológico	2	3,635	0,05 *
	Condición quema	1	27,794	0,00 **
	Condición quema*período	2	0,308	0,74 ns
Proteína cruda	Período fenológico	2	2,49	0,13 ns
	Condición quema	1	5,54	0,04 **
	Condición quema*período	2	26,02	0,00 **
Fibra cruda	Período fenológico	2	399,88	0,00 **
	Condición quema	1	15,665	0,01 **
	Condición quema*período	2	10,87	0,01 **
Grasa cruda	Período fenológico	2	7,61	0,01 **
	Condición quema	1	1,98	0,18 ns
	Condición quema*período	2	6,949	0,01 **
Cenizas	Período fenológico	2	3,08	0,08 ns
	Condición quema	1	25,96	0,00 **
	Condición quema*período	2	1,20	0,33 ns
Carbohidratos totales	Período fenológico	2	198,38	0,00 **
	Condición quema	1	5,59	0,051 ns
	Condición quema*condición	2	6,28	0,02 *

Por su parte, el período fenológico también tuvo efecto importante en las variables estudiadas, excepto en las concentraciones de proteínas y cenizas. La interacción período fenológico por condición de quema influyó en la mayoría de las variables, excepto en la ceniza y materia seca.

Las proteínas presentaron fuerte interacción factorial, por lo que sus concentraciones por causa de la quema dependerían simultáneamente del período fenológico, más que de los efectos simples, tal como se ilustra en la Figura 2. En este caso, el efecto del fuego en el totoral no se manifestó en el período de brotación de la planta sino a partir de la época de crecimiento, momento en que disminuyeron significativamente los contenidos de proteínas en los tallos aéreos.

De igual forma, la concentración de las grasas presentó interacción significativa entre los factores, implicando que su concentración según condición de quema estaría supeditada al período fenológico de la planta, aspecto que se discute posteriormente.

Efecto según condición de uso del fuego. Los valores por variable nutricional según la condición de quema se detallan en el Cuadro 3. Para la materia seca, el totoral quemado por dos años consecutivos presentó significativamente mayores valores (27,02 %) respecto al totoral sin quema por cinco años (21,22 %), traducido en un incremento general de 27,33 %, indicio que las quemadas recurrentes propician mayor depósito de materia seca en tejidos del culmo. Pastizales

australianos y forrajeras en México presentaron también este efecto, incrementándose significativamente la materia seca por causa del fuego (Bennett et al., 2003; Flores et al., 2016) y en totorales sin perturbación por fuego en el Titicaca promediaron unos 19 % de materia seca (Roque et al., 2003), valores cercanos al total con ausencia de quema, pero debajo de lo hallado en totorales quemados por dos años seguidos.

Los cambios en materia seca de forrajeras dependen de las condiciones ambientales predominantes (Muñoz et al., 2016) y el fuego puede alterarla, al igual que en la concentración de nutrientes y biomasa (Zhao et al., 2019). Su incremento en totora ocurriría porque luego del

fuego se liberan nutrientes inmediatamente disponibles para los nuevos brotes (Flores et al., 2016) y/o también debido a que al presentar menor biomasa los rebrotes post fuego, los nutrientes del sustrato se distribuyen en la misma proporción que en una planta sin quema, logrando que las plántulas nuevas tengan mayores concentraciones de nutrientes y materia seca (Van de Vijver et al., 1999). La materia seca contiene los elementos estructurales de las plantas (Oliva et al., 2015), pero no siempre es indicador de la calidad de un alimento ni de su adecuada digestibilidad (Hurley et al., 2021), ya que la calidad del forraje se evalúa principalmente por su contenido de proteínas y baja proporción de carbohidratos estructurales (Nava et al., 2018).

Cuadro 3. Valores de las variables nutricionales en culmos de totora según condición de quema. Flechas hacia arriba señalan incremento y hacia abajo disminución respecto al total sin quema.

Variable (% en base fresca)	Condición de quema	Valor medio	Cambio (%)
Materia seca	Quema por 2 años	27,02 a	27,33 ↑
	Sin quema por 5 años	21,22 b	
Fibra cruda	Quema por 2 años	30,04 a	6,79 ↑
	Sin quema por 5 años	28,13 b	
Cenizas	Quema por 2 años	5,73 b	26,06 ↓
	Sin quema por 5 años	7,75 a	
Carbohidratos totales	Quema por 2 años	49,96 a	ns
	Sin quema por 5 años	48,07 a	

Dada la fuerte interacción detectada entre la condición de quema y el período fenológico de la planta, los resultados para las proteínas y la grasa cruda se reportan en la Figura 2. Letras diferentes entre filas por variable, indican significancia estadística según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

La fibra cruda tuvo valores significativamente superiores en tallos de totorales quemados (30,04 %), respecto a los de sin quema por cinco años (28,13 %) (Cuadro 3), indicativo que el fuego propició mayor síntesis de carbohidratos estructurales, como celulosa, hemicelulosa y lignina (Méndez et al., 2020) en los culmos. La exposición de las plantas a factores ambientales adversos, como el fuego, propicia el crecimiento de la pared celular y mayores niveles de fibra cruda y menor contenido de nutrientes fundamentales como las proteínas (Kendall et al., 2009), lo que limita la digestibilidad de las plantas, constituyéndose en el mejor predictor individual de baja calidad del forraje (Lee, 2018), pudiendo afectar incluso sus posibilidades para consumo voluntario en rumiantes (Mejía, 2002).

Las cenizas resultaron significativamente

mayores en total sin quema (7,75 %) en comparación con el total quemado por dos años seguidos (5,73 %), lo que implicó una disminución de 26,06 % en este componente por el uso del fuego (Cuadro 3). En pajonales y plantas forrajeras también se describió este efecto por causa de la quema (Gul et al., 2014; Massa et al., 2017), por lo que, considerando que las cenizas contienen principalmente minerales y son una medida de la calidad en cuanto a sus propiedades funcionales (Der-Jiun et al., 2012), se concluye que las quemas consecutivas redujeron también la calidad de este forraje en cuanto a sus elementos minerales.

Para el caso de los carbohidratos solubles o no estructurales (azúcares, almidones, pectinas) (Gaviria et al., 2015), los contenidos fueron similares en total quemado por dos años

consecutivos y total sin quema por cinco años, lo que implica un efecto no significativo por la aplicación del fuego.

Efecto de la quema según períodos fenológicos.

La Figura 2 describe los efectos específicos del fuego en culmos de totora, según período fenológico por variable nutricional. La materia seca presentó superioridad significativa en todas las épocas en culmos procedentes del total quemado, destacablemente mayores durante la época de brote y madurez ($P \leq 0,05$). En el crecimiento (enero, marzo), cuando ocurren las mayores precipitaciones, se registró la menor materia seca, pero significativamente más alta en tallos procedentes de totorales quemados recurrentemente (25,32 %) respecto a los de totorales sin quema consecutiva (18,74 %) (Figura 2a). La mayoría de forrajes contienen superior materia seca en la madurez (Rezaeifard et al., 2010) y es inusual altos niveles en los brotes, como ocurrió en la totora, siendo quizás una característica propia de esta macrófita o porque su brotamiento ocurrió cuando el lecho lacustre presentó una profundidad mínima (Cuadro 1), aunado a la probabilidad de que el fuego reduce la eficiencia del uso de agua en las plantas (Snyman, 2005). Estudios precedentes en totora reportan similarmente mayor materia seca en la madurez, comparados con la época de crecimiento, pero no se encontraron evaluaciones durante el brotamiento (Roque et al., 2003).

Las mayores concentraciones de proteínas en forrajes se presentan generalmente al inicio de su desarrollo fenológico y disminuyen conforme alcanzan la madurez (Arzani et al., 2004), para el caso de la totora no se cumplió cabalmente este supuesto, ya que en el total sin quema los niveles de proteína fueron menores durante el brotamiento (6,87 %), con un aumento significativo en la etapa de crecimiento (10,14 %) que se prolongó hasta la madurez; sin embargo con el fuego se propició una efímera superioridad en los brotes (9,28 %), pero decreciendo progresivamente hasta la madurez (7,04 %) (Figura 2b). En otras macrófitas acuáticas, también la quema propició un incremento momentáneo en el contenido de proteína de los brotes, para posteriormente equipararse con plantas que se desarrollaron sin quema previa (White et al., 2008). Las altas concentraciones de

nitrógeno en tejidos tisulares después de la quema, en los nuevos brotes, seguida de su progresiva disminución, puede resultar de una rápida absorción de nutrientes después del fuego y la dilución de esta concentración al restaurarse luego la biomasa vegetal (Anderson y Menges, 1997); situación que ocurrió con la totora, pero superando ampliamente las concentraciones de proteínas en el total sin quema, tanto en la época de crecimiento como en la madurez, evidenciándose el efecto perjudicial del fuego sobre este nutriente en gran parte de su desarrollo fenológico, observándose ello en la interacción factorial ($P \leq 0,05$).

Las quemas volatilizan el nitrógeno de las plantas y del sustrato, siendo posteriormente menos disponible y asimilable (Jones et al., 2015) y cuando el fuego es frecuente, las pérdidas son extremas, afectando consecuentemente el desarrollo y la fisiología de la planta (Oliveras et al., 2013), disminuyendo además el valor biológico y su calidad como alimento forrajero.

En otras latitudes, la quema también afectó las concentraciones de proteínas en plantas de sabana al presentar un promedio de 4,7 % respecto a zonas sin quema que lograron 6,5 % (Mbatha y Ward, 2010). En otros casos disminuyeron su contenido de nitrógeno en el follaje al mostrar mayores niveles en las áreas sin quema, respecto a quemas recientes o bienales, e igualándose estadísticamente sólo en quemas cuatrienales (Oliveras et al., 2013). Esto implica que a mayor alternancia de tiempo entre quemas, las posibilidades de disminución en las proteínas son menores. Los efectos en la concentración de proteínas en forrajes y pastizales por causa del fuego dependerán de la especie en cuestión, del grupo funcional (plantas C4 son más sensibles) y de la época de quema (previo a meses lluviosos producen menos impactos negativos), y en la mayoría de casos, los incrementos (cuando ocurren) son fugaces y prevalecen solamente durante el rebrote (Snyman, 2005; Zhao et al., 2019; McGranahan, et al., 2014), similar a lo observado en el presente estudio. Everson (1999) atribuye este incremento momentáneo a que las áreas quemadas no están colmatadas de material de baja calidad, lo que podría disminuir la eficiencia en la asimilación del nitrógeno y Van der Vijvar (1999) refiere que puede haber mayor

disponibilidad de nitrógeno en un sustrato quemado con menor número de plantas, respecto a un suelo sin quema que generalmente contiene más plantas por área.

Las proteínas constituyen un indicador importante en la calidad de un forraje (Nava et al. 2018) y sus concentraciones en culmos de totora, según este estudio, superan considerablemente las concentraciones de otros pastos forrajeros altoandinos (IICAT, 2015) e incluso de culmos de otras ciperáceas (Bhaduri et al., 1998), evidenciándose como un forraje de importante calidad, aunque las quemaduras consecutivas representarían un riesgo para este beneficio, especialmente a partir de la época de crecimiento.

Los niveles de fibra cruda resultaron significativamente superiores ($P \leq 0,05$) en culmos de totorales quemados por dos años consecutivos en las etapas de crecimiento (35,43 %) y madurez (35,88 %), en relación a totorales sin quema cuyos tallos promediaron 32,56 % y 31,81 % respectivamente, pero en el período de brote ambos tratamientos presentaron las menores concentraciones y significativamente similares entre ellos ($P > 0,05$) (Figura 2c).

Es usual el incremento paulatino de la fibra cruda al transcurrir el desarrollo fenológico e incremento de la edad de la planta, debido a la acumulación de compuestos estructurales (Méndez et al., 2020), lo cual está asociado a un engrosamiento de sus paredes celulares y menores depósitos de proteínas y energía de fácil digestión, afectando luego la alimentación del ganado (Van Soest, 1994); por lo que el uso del fuego en totorales, sumado al natural incremento de fibra en el transcurso de su desarrollo, afectaría la calidad de los tallos para uso forrajero desde la etapa de crecimiento (febrero, marzo). Este efecto se evidencia también en otros pastos, donde la fibra (fibra detergente ácido y fibra detergente neutro) incrementa conforme avanza su desarrollo fenológico, disminuyendo a su vez en la calidad y luego en su digestibilidad (Arzani et al., 2004).

Las variaciones en grasa cruda fueron dependientes de la interacción entre condición del total y período fenológico ($P \leq 0,05$), resultando significativamente inferiores en el total quemado durante la época del rebrote (4,32 %), aumentando luego en la época de crecimiento

(10,06 %). Contrariamente en el total sin quema las concentraciones fueron significativamente superiores en el rebrote (8,69 %) y significativamente menores hacia la madurez (5,96 %) (Figura 2d). Aunque no hubo un efecto claro por el uso del fuego, sí se evidencia un relativo incremento en el total con quema en la etapa de crecimiento, similar a lo hallado por Santacruz et al. (2021) quienes explican que el incremento en los compuestos lipídicos por efecto de la quema, entre los que incluyen altos niveles de fenoles, promueven su regeneración y crecimiento, como una respuesta funcional al fuego.

En la Figura 2d, se evidencia también que las concentraciones de grasas en los culmos superaron el 4 %, lo que difiere de otros estudios donde los niveles fluctúan entre 1,5 y 1,8 % (Roque et al., 2003). Existen referencias que el cambio climático estaría propiciando un incremento en la tasa metabólica de lípidos y ácidos grasos en diferentes especies de plantas, sobre todo en especies C3, como *Schoenoplectus* (Azcón y Talón, 2013; Morris, 2018), siendo quizás ésta una probable explicación.

Las cenizas no manifestaron diferencias entre períodos fenológicos, ni interacciones factoriales con los tratamientos ($P > 0,05$), destacando sólo la superioridad en total sin quema durante todo el transcurso del estudio (Figura 2e). Los carbohidratos totales tuvieron significativamente mayores concentraciones durante el rebrote respecto a los períodos de crecimiento y madurez, sobresaliendo en el total con quema consecutiva (Figura 2f).

Asociación entre nutrientes. Las correlaciones entre las variables nutricionales mostraron que la materia seca está correlacionada negativamente con las concentraciones de cenizas (-0,85) y de proteína cruda (-0,83), es decir conforme aumenta la materia seca, disminuyen significativamente los niveles de estas dos variables en culmos de totora; similarmente la fibra cruda también tuvo un efecto antagónico sobre las proteínas (-0,80) y las cenizas (-0,90), pero positiva con la materia seca (0,81), corroborando que gran parte de esta materia seca de los tallos está conformado principalmente por elementos fibrosos o carbohidratos estructurales. Las grasas estuvieron asociadas con los carbohidratos negativamente (-0,94), reflejando que al disminuir carbohidratos se obtiene una ganancia en el contenido lipídico (Cuadro 4).

Otros estudios referidos a calidad de forraje concuerdan en las correlaciones negativas significativas entre materia seca y proteínas, así como correlaciones positivas entre materia seca y fibra (fibra detergente neutro o detergente ácido), por el incremento gradual de la pared celular conforme avanza el desarrollo vegetativo y como

consecuencia, las proteínas disminuyen (Reyes et al., 2009; Andueza et al., 2019). Ello corrobora los niveles de antagonismo en la síntesis de ambos compuestos, magnificándose aún más por efecto de la quema en el caso de totorales, lo que conlleva a pérdida de calidad y eficiencia como forraje.

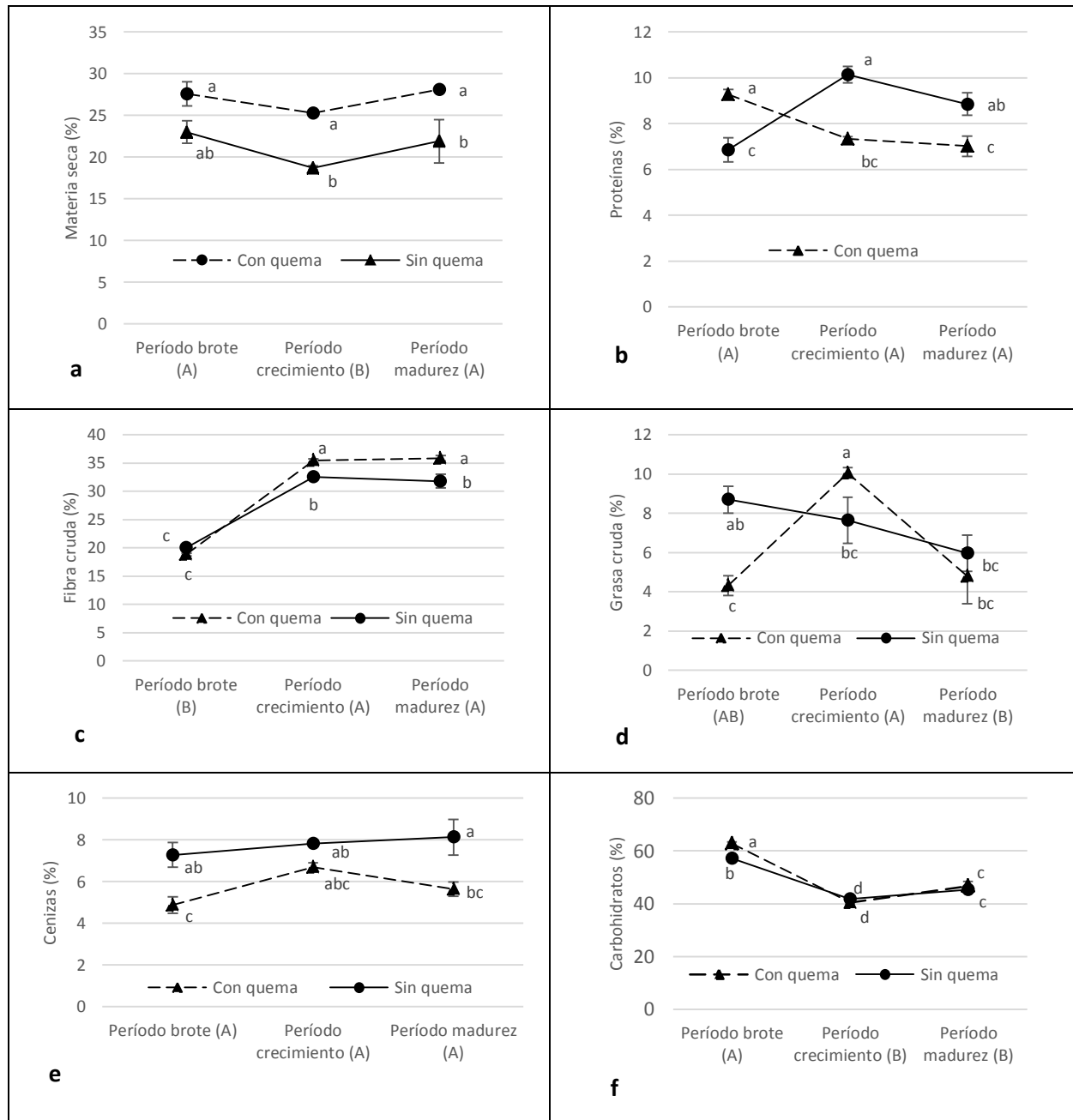


Figura 2. Variaciones en contenidos nutricionales de tallos aéreos de totora, según período fenológico y tratamiento con quema previa por dos años seguidos y sin quema por cinco años (medias \pm SE); letras diferentes en las líneas de tendencia y rótulo de período fenológico indican diferencias estadísticas significativas a la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Cuadro 4. Matriz de correlaciones Pearson entre variables nutricionales de tallos de totora. ** la correlación es significativa al nivel 0,01.

Correlación Pearson	Materia seca	Ceniza	Proteína cruda	Grasa	Fibra cruda	
Materia seca	r Sig.					
Cenizas	r Sig.	-0,85** 0,00				
Proteína cruda	r Sig.	-0,83** 0,00	0,77** 0,01			
Grasa cruda	r Sig.	-0,04 0,91	0,05 0,87	-0,02 0,96		
Fibra cruda	r Sig.	0,81** 0,00	-0,90** 0,00	-0,80** 0,01	0,13 0,68	
Carbohidratos totales	r Sig.	0,20 0,53	-0,18 0,56	-0,21 0,52	-0,94** 0,00	-0,06 0,84
	n	18	18	18	18	

CONCLUSIONES

Las quemas consecutivas de totorales en estado de senescencia, conllevaron a una restricción en la calidad nutricional de los tallos aéreos. El fuego prescrito por dos años consecutivos condujo a un mayor contenido de materia seca en culmos post quema, repercutiendo a su vez en elevadas concentraciones de carbohidratos estructurales representados por la fibra cruda. Además, la quema propició una disminución en los contenidos de proteínas a partir del período fenológico de crecimiento, afectando su valor biológico como alimento forrajero; las cenizas también se redujeron, promoviendo plantas con bajas concentraciones de elementos minerales.

Las interacciones factoriales detectadas en algunas variables nutricionales demostraron que el efecto de la quema está condicionada a los períodos fenológicos o la época del año. La materia seca fue menor en la época de crecimiento (lluviosa), especialmente significativa en el total sin quema. Se observaron efímeras y superiores concentraciones de proteínas durante el rebrote en el total quemado, para ser superado posteriormente desde la época de crecimiento en total sin quema; la fibra cruda incrementó ostensiblemente por causa de la quema, interfiriendo en el contenido de proteínas.

Culmos de totora procedentes de áreas sin quemas consecutivas presentan mejor calidad nutricional, para uso forrajero, especialmente

durante la época de crecimiento y al afectarse este valor, es necesario plantear restricciones a esta práctica por las instancias competentes y establecer criterios que garanticen la recuperación del total a partir de estudios que definan lapsos de tiempo adecuados entre quemas.

AGRADECIMIENTO

A la Reserva Nacional del Titicaca y a los usuarios de totora del ámbito de Chucuito, Puno.

LITERATURA CITADA

- Andueza, D., F. Picard, P. Pradel y K. Theodoridou. 2019. Feed value of barn-dried hays from permanent grassland: A comparison with fresh forage. *Agronomy* 9: 273.
- Anderson, R.C. y E.S. Menges. 1997. Effects of fire on sandhill herbs: Nutrients, mycorrhizae, and biomass allocation. *American Journal of Botany* 84(8): 938-948.
- AOAC (Association of Analytical Communities). 2005. Official Methods of Analysis of AOAC International. Edit. AOAC. Maryland, USA.
- Arzani, H., M. Zohdi, E. Fish, G. Amiri, A. Nikkah y D. Wester. 2004. Phenological effects on forage quality of five grass species. *Journal of Range Manage* 57: 624 -629.

5. Augustine, D.J., J.D. Derner y D.G. Milchunas. 2010. Prescribed fire, grazing, and herbaceous plant production in shortgrass steppe. *Rangeland Ecology and Management* 63(3): 317-323.
6. Azcón-Bieto, J. y M. Talón. 2013. *Fundamentos de fisiología vegetal*. Ed. McGraw-Hill/Interamericana. México DF.
7. Bhaduri, S., S. Chanda y P. Majumdar. 1998. Chemical characterization of the stem of *Cyperus tegetum* - A semi-aquatic plant of economic importance. *Bioresource Technology* 63: 279-281.
8. Bennett, L.T., T.S. Judd y M.A. Adams. 2003. Growth and nutrient content of perennial grasslands following burning in semi-arid, subtropical Australia. *Plant Ecology*, 164(2): 185-199.
9. Der-Jiun, O., I. Shahid y I. Maznah. 2012. Proximate composition, nutritional attributes and mineral composition of *Peperomia pellucida* L. (Ketumpangan Air) Grown in Malaysia. *Molecules* 17: 11139-11145.
10. Everson, C.S. 1999. Veld burning in different vegetation types. In: N.M. Tainton (ed). *Veld Management in South Africa*. University of Natal Press. Pietermaritzburg, South Africa. pp. 228-326.
11. Flores, E., M. Luna, C. Haubi, A. Díaz y J. Luna. 2016. Efecto del fuego en producción y calidad de zacate rosado en Aguascalientes. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7(6): 1271-1281.
12. Gaviria, X., J. Rivera y R. Barahona. 2015. Calidad nutricional y fraccionamiento de carbohidratos y proteína en los componentes forrajeros de un sistema silvopastoril intensivo. *Pastos y Forrajes* 38(2): 194-201.
13. Goyzueta, G., R. Alfaro y M. Aparicio. 2009. *Totorales del lago Titicaca*. Edit. Meru. Puno, Perú.
14. Gul, M., S. Ahmad y S. Gul. 2014. Effect of prescribed fire on forage production and nutritive value of the perennial grass *Saccharum griffithii*. *Phyton* 83: 415-421.
15. Hurley, M.A., E. Lewis, M. Beecher, G. Garry, C. Fleming, T. Boland y D. Hennessy. 2021. Dry matter intake and in vivo digestibility of grass-only and grass-white clover in individually housed sheep in spring, summer and autumn. *Animals*: 11, 306.
16. IICAT (Instituto de Investigación en Ciencia Animal y Tecnología). 2015. Determinación del valor nutricional de la pradera nativa provincia José Manuel Pando municipio de Santiago de Machaca. *Journal of the Selva Andina Animal Science* 2(1):22-33.
17. Jones, R., J. Chambers, D. Johnson, R. Blank y D. Board. 2015. Effect of repeated burning on plant and soil carbon and nitrogen in cheatgrass (*Bromus tectorum*) dominated ecosystems. *Plant Soil* 386: 47-64.
18. Kendall, C., C. Leonardi, P.C. Hoffman y D.K. Combs. 2009. Intake and milk production of cows fed diets that differed in dietary neutral detergent fiber and neutral detergent fiber digestibility. *Journal of Dairy Science* 92: 313-323.
19. Klop, E., H. Udo de Haes, H. de Longh, A. Brunsting y M. Prins. 2009. Fires and forage quality: the effects of burning regime on savanna regrowth quality. In: H. Prins (ed.). *Fire savannas*. Scholarly Publications Leiden University. pp. 29-44.
20. Lee, M.A. 2018. A global comparison of the nutritive values of forage plants grown in contrasting environments. *Journal of Plant Research* 131: 641-654.
21. Mbatha, K.R. y D. Ward. 2010. The effects of grazing, fire, nitrogen and water availability on nutritional quality of grass in semi-arid savanna, South Africa. *Journal of Arid Environments* 74(10): 1294-1301.
22. McGranahan, D.V., C.B. Henderson, J.S. Hill, G. Raicovich, W. Wilson y K. Smith. 2014. Patch burning improves forage quality and creates grassbank in old-field pasture: Results of a demonstration trial. *Southeastern Naturalist* 13(2): 200-207.
23. Mejía, J. 2002. Consumo voluntario de forraje por rumiantes en pastoreo. *Acta Universitaria* 12(3): 56-63.
24. Méndez, Y., J.J. Reyes, R.A. Luna, J. Ledea, W. Sornoza, F. Herrera, G. Álvarez y J. Ramírez. 2020. Efecto de la edad del rebrote y el clima en la composición química de *Cenchrus purpureus* en ecosistemas degradados de Cuba. *Scientia Agropecuaria*

- 11(3): 301-308.
25. Moreau, S. y T. Le Toan. 2003. Biomass quantification of Andean wetland forages using ERS satellite SAR data for optimizing livestock management. *Remote Sensing of Environment* 84(4): 477-492.
26. Morris, E. 2018. Nutritional change due to climate warming: an analysis of fatty acid content of pasture plants common to Southern Ontario. Tesis, Master of Science in the Program of Molecular Science. Ryerson University Toronto. <https://n9.cl/6rf2u>
27. Muñoz, J.C., M. Huerta, A. Lara, R. Rangel y J.L. De la Rosa. 2016. Producción de materia seca de forrajes en condiciones de trópico húmedo en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 16: 3329-3341.
28. Nava, C., R. Rosales, F. Carrete, R. Jimeny, P. Domínguez y O. Reyes. 2018. Productividad y calidad de forraje de pastos cultivados durante la época seca en durango, México. *Agrociencia* 52(6): 803-816.
29. Oliva, M., D. Rojas, A. Morales, C. Oliva y M. Oliva, M. 2015. Nutritional content, digestibility and performance of native grasses biomass that dominate livestock Molinopampa, Pomacochas and Leymebamba basins, Amazonas, Peru. *Scientia agropecuaria* 6(3): 211-215.
30. Oliveras, I., S.T. Meirelles, V.L. Hirakuri, C. Freitas, H. Miranda y V. Pivello. 2013. Effects of fire regimes on herbaceous biomass and nutrient dynamics in the Brazilian savanna. *International Journal of Wildland Fire* 22(3): 368-380.
31. PELT (Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca). 2000. Evaluación de la totora en el Perú. Estudio 21.02. Autoridad Binacional del Lago Titicaca (ALT) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). 169 p.
32. Reyes, A., E.D. Bolaños, D. Hernández, E. Aranda y F. Izquierdo. 2009. Producción de materia seca y concentración de proteína en 21 genotipos del pasto humidícola *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick. *Universidad y Ciencia* 25(3): 213-224.
33. Rezaeifard, M., A.A. Jafari y M.H. Assareh. 2010. Effects of phenological stages on forage yield quality traits in cocksfoot (*Dactylis glomerata*). *Journal of Food, Agriculture & Environment* 8(2): 365-369.
34. RNT (Reserva Nacional del Titicaca). 2002. Plan Maestro de la Reserva Nacional del Titicaca 2003 – 2007. Ministerio de Agricultura, INRENA. Puno, Perú.
35. Roque, B., M. Echevarría y C. Gómez. 2003. Determinación de la producción forrajera y valor nutricional de totora (*Scirpus tatora* Kunth) en vacunos. *Anales Científicos UNALM* 15: 218-227.
36. Santacruz, A.C., S. Bravo, F. del Corro, E. Gracia, D. Molina y N. Nazareno. 2021. How do plants respond biochemically to fire? The role of photosynthetic pigments and secondary metabolites in the post-fire resprouting response. *Forests* 12: 56.
37. SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2020. Tiempo pronóstico meteorológico / SENAMHI – Puno Perú. <https://n9.cl/nobss> (consulta de julio 11, 2020).
38. Snyman, H.A. 2005. Influence of fire on root distribution, seasonal root production and root/shoot ratios in grass species in a semi-arid grassland of South Africa. *South African Journal of Botany* 71(2): 133-144.
39. Twidwell, D., W.E. Rogers, E.A. McMahon, B. Thomas, U.P. Kreurer y T.L. Bkankenship. 2012. Prescribed extreme fire effects on richness and invasion in coastal prairie. *Invasive Plant Science and Management* 5(3): 330-340. <https://doi.org/10.1614/ipsm-d-12-00017.1>
40. Vacher, J.J., E. Brasier de Thuy y M. Liberman. 1991. Influencia del lago en la agricultura litoral. *In: C. Dejoux y A. Iltis* (eds.). *El Lago Titicaca, Síntesis del Conocimiento Limnológico Actual*. Orstom-Hisbol. La Paz. pp. 517-530.
41. Van de Vijver, C.A., P. Poot y H.H. Prins. 1999. Causes of increased nutrient concentrations in post-fire regrowth in an East African savanna. *Plant and Soil* 214: 173-185.
42. Van Soest, P. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Edit. A. Comstock Book. Cornell University, NY.
43. White, J.R., L.M. Gardner, M. Sees y R. Corstanje. 2008. The short-term effects of

prescribed burning on biomass removal and the release of nitrogen and phosphorus in a treatment wetland. *Journal of Environmental Quality* 37: 2386-2391.

44. Zhao, X., S. Hu, J. Dong, M. Ren, X. Zhang,

K. Dong y C. Wang. 2019. Effects of spring fire and slope on the aboveground biomass, and organic C and N dynamics in a semi-arid grassland of northern China. *Journal Arid Land* 11: 267-279.