**a) Título del artículo**

**EFECTO DEL TRATAMIENTO ALCALINO (NaOH) EN LA DIGESTIBILIDAD DE LA MATERIA SECA Y PROTEÍNA DE LA TOTORA (*Scirpus californicus*) EN COBAYOS**

**ALKALINE TREATMENT (NAOH) EFFECT IN THE DRY MATTER AND PROTEIN DIGESTIBILITY OF CATTAILS (Scirpus californicus) IN GUINEA PIGS**

**b) Título corto**

**DIGESTIBILIDAD DE LA TOTORA CON NaOH EN CUYES**

**c) Nombre y apellidos de los autores**

**Jorge Castro Bedriñana1, Doris Chirinos Peinado.1 y Clever Paucar Quevedo.2**

**Universidad Nacional del Centro del Perú**

**Facultad de Zootecnia – Laboratorio de Nutrición Animal**

**Autor responsable de la correspondencia del trabajo:**

**Jr. A.B. Leguía N° 110- Chilca, Huancayo. Cel. 964408075**

**jorgecastrobe@yahoo.com www.uncp.edu.pe**

**Fuente financiera principal del estudio: Autores**

**------------------------------------------------------**

1 Universidad Nacional del Centro del Perú

2 Universidad Nacional de Huancavelica

**RESUMEN**

El estudio se realizó en la sala de digestibilidad de la granja de cuyes de la Universidad Nacional de Huancavelica, con el objetivo de evaluar el efecto del tratamiento alcalino de la totora (*Scirpus californicus*), forraje existente en centros experimentales de Lachoc, Tucumachay y Paturpampa, empleando hidróxido de sodio (NaOH) al 2, 3 y 4% en base seca, sobre la digestibilidad de materia seca y proteína en cuyes. Luego del tratamiento alcalino de la totora se realizaron pruebas de digestibilidad en 16 cuyes machos de 4 meses de edad de la Línea Inti, empleándose 4 animales por tratamiento: (T1): Totora sin tratamiento alcalino, (T2) Tratamiento de totora con NaOH al 2%, (T3) Tratamiento de totora con NaOH al 3% y (T4) Tratamiento de totora con NaOH al 4%. Los coeficientes de digestibilidad (%) para la materia seca da la totora sin tratamiento y tratada con 2, 3 y 4% de NaOH, fueron 63,46b, 65,27b, 69,88a y 70,86a (P<0,01); para la proteína total fueron 73,86c, 75,06c, 78,46b y 81,25a (P<0,01), respectivamente. Se concluye que el tratamiento de la totora con NaOH fue efectivo en mejorar la digestibilidad de la materia seca y proteína cruda, siendo el efecto más notorio al emplear NaOH al 4%.

Palabras claves: digestibilidad, totora, hidróxido de sodio, proteína total, materia seca, cuyes.

**ABSTRACT**

The study was conducted in guinea pig farm at the National University of Huancavelica, in order to evaluate the effect of alkaline treatment of the cattail (*Scirpus californicus*), forage available in experimental centers Lachoc, Tucumachay and Paturpampa. Cattails was treated with sodium hydroxide (NaOH) to 2.0, 3.0 and 4.0% on a dry basis, on dry matter and protein digestibility in guinea pigs. After alkaline treatment of cattails, digestibility tests were performed on 16 adult male “Inti” line guinea pigs, using four animals per treatment (T1): Cattail without alkaline treatment (T2) Treatment cattail with 2% NaOH, (T3) Treatment cattail with 3% NaOH and (T4) Treatment cattails with 4% NaOH. The digestibility coefficients (%) of dry matter of no treatment cattail, and treated cattails with 2, 3 and 4% NaOH were 63,46b, 65,27b, 69,88a and 70,86a, respectively (P<0.01); for total protein digestibility values ​​were 73,86c, 75,06c, 78,46b and 81,25a (P<0.01), respectively. It is concluded that the treatment of cattails with NaOH was effective in improving the digestibility of dry matter and crude protein; with 4% NaOH the greatest effect was observed.

Keywords: digestibility, cattails, sodium hydroxide, total protein, dry matter, guinea pigs.

**INTRODUCCIÓN**

La condición de herbívoro del cuy permite alimentarlo con todo tipo de forrajes, desde las leguminosas como la alfalfa, hasta otras especies fibrosas como el caso de la totora (*Scirpus californicus*), la cual en las condiciones de Lachoc, Tucumachay y Paturpampa-Huancavelica es un recurso disponible, y para utilizarlos de manera técnica y científica se debe conocer su composición química, aporte de nutrientes digestibles y consumo voluntario (Castro y Chirinos, 2007). La mayoría de los componentes orgánicos del alimento están en forma de grandes moléculas insolubles que deben ser convertidas en otras más simples para atravesar la mucosa. El paso de los nutrientes a través de las microvellosidades intestinales se denomina absorción; sin embargo, para los estudiosos de la digestibilidad, el término "digestión" incluye tanto la digestión y la absorción de los nutrientes, es decir la digestibilidad.

La composición química de un alimento indica solo su contenido bruto, más no su disponibilidad; de manera que digestibilidad es uno de los indicadores más utilizados para determinar la calidad de las proteínas, la cual dependerá de la naturaleza de las proteínas alimentarias, de la presencia de componentes no proteicos con influencia en la digestión, como el contenido de fibra, que interfiere en los procesos enzimáticos de liberación de los aminoácidos (Church y Pond, 1990). Conocer la digestibilidad supone la determinación de la cantidad de un nutriente que desaparece en el tracto digestivo, siendo indicativo del grado de absorción mientras que atraviesa el tracto digestivo, definiendo a la digestibilidad como el porcentaje de un nutriente dado, que es digerido y absorbido al atravesar el canal digestivo. La prueba de digestibilidad permite cuantificar los nutrientes consumidos y la respectiva cantidad eliminada en las heces, calculándose, por diferencia, el grado de desaparición de los nutrientes debido a la absorción (Castro y Chirinos, 2007). En el caso de la fracción proteica la digestibilidad es “*aparente*” cuando no se hacen correcciones del nitrógeno que no proviene de la dieta, sino de la descamación del tubo digestivo, de los jugos y secreciones y de la flora intestinal, que constituye una pérdida inevitable de nitrógeno, que de hacerlo, se tendrá la digestibilidad verdadera.

Los coeficientes de digestibilidad se pueden determinar a través de diferentes métodos; *in vivo*, es decir empleando animales, ya sea por técnicas directas o indirectas, con una colección total de la excreta “método convencional” o mediante el uso de marcadores, y los métodos *in vitro,* donde se utilizan técnicas de laboratorio mediante el empleo de enzimas digestivas (FAO/OMS, 1992).

Dentro del método *in vivo*, la técnica directa se emplea cuando el insumo en estudio puede constituir el 100% de la ración, debiéndose medir con exactitud la cantidad de nutrientes ingeridos y sus respectivas cantidades eliminadas en las heces, las cuales representan las fracciones indigestibles del alimento. Para ello se realizan los análisis químicos correspondientes para poder realizar los respetivos cálculos matemáticos y determinar los coeficientes de digestibilidad (Castro y Chirinos, 2007).

Castro y Chirinos (2007) proporcionan un esquema práctico para la realización en ensayos de digestibilidad *in vivo* por el método directo, que incluye: Selección de animales, de pesos homogéneos (si es que la edad no es factor en estudio), de preferencia machos (si es que el factor sexo no está en estudio) para facilitar la recolección de heces y orina por separado, en un número adecuado que permita reducir las variaciones individuales con respecto a la capacidad digestiva y detectar cualquier error de medición que pudiera cometerse. Los animales son dispuestos en jaulas metabólicas que le permitan un libre movimiento. Las jaulas tienen acondicionados el comedero, bebedero y el sistema de colección de heces y orina por separado. Las jaulas más comúnmente utilizadas tienen un piso de malla metálica que permite el pasaje de las heces y la orina, recolectándose las heces en otra malla ubicada debajo de la primera. Muchas de las jaulas mantienen confinado al animal y se ajustan al largo del mismo, de tal manera que las heces caigan a un recipiente colocado ex profeso; el comedero se encuentra al frente a fin de evitar los desperdicios. El alimento, que representa el 100% de la ración, se suministra cuidadosamente pesado a cada animal, colectándose muestras representativas del mismo. En la fase pre-experimental, se habitúa al animal a la ración en estudio, periodo en el que la microflora digestiva se adaptación al nuevo alimento; en este etapa también se ajustar el consumo de alimentos hasta un nivel bastante estable a fin de evitar la selectividad y grandes desperdicios, que para el caso de cuyes pueden ser suficientes 5 días de fase de adaptación. La fase experimental, considera la medición exacta del consumo y la producción fecal correspondiente. Generalmente se asume que las heces colectadas en un día determinado corresponden al material indigestible del alimento consumido el día anterior. Se recolectan las heces por un periodo de 8 a 10 días a fin de tener un muestreo representativo del alimento en estudio.

El análisis químico del alimento y las heces nos permite calcular la diferencia entre la cantidad de un nutriente consumido por el animal y la cantidad excretada. El análisis más utilizado es el “Proximal” o de “Weende” y permite determinar la digestibilidad de la materia seca, proteína total, extracto etéreo, fibra cruda y materia orgánica.

Con respecto al tratamiento de forrajes con NaOH, varios reportes indican su capacidad de mejorar el valor nutritivo de insumos fibrosos como los pastos secos, las pajas de cebada, avena, y otros; tratamiento alcalino asociado con la solubilización parcial de la hemicelulosa, lignina, sílice, e hidrólisis de ácido urónico y ésteres de ácido acético (Chesson *et al*., 1983; Sundstol, 1988), rompiendo intramolecularmente los enlaces de hidrógeno de la celulosa, facilitando la digestión de los diferentes componentes del forraje (Berger *et al*., 1994), mejorando la digestibilidad entre el 5 a 10% e incrementando el consumo entre 25 a 50% (Preston, 1995). Respuestas similares se han reportado en paja de trigo (Haddad *et al.,* 1998, 2014) y en paja de cebada (Zaman et al., 1995). Se han empleado niveles de 4 a 6% de NaOH en pruebas in vitro teniendo buenos resultados, los cuales in vivo podrían tener efectos desfavorables en la fisiología y metabolismo en general. Similarmente, Ng’ambi y Campling (1991) tratando con 4% de NaOH diferentes pajas encontraron un aumento significativo en la digestibilidad de la materia orgánica de la paja de avena en 13%, de 24% para la paja de trigo y de 36% para la paja de cebada.

En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue determinar el efecto del tratamiento de la totora con diferentes concentraciones de NaOH sobre los coeficientes de digestibilidad de la materia seca y proteína en cuyes para su uso práctico en la alimentación de estos animales menores.

**MATERIALES Y MÉTODOS**

**Muestras y Tratamiento de la Totora**

La totora, en inicio de floración (5%), fue picada en porciones de 25 a 30 mm, luego se determinó su contenido de materia seca (AOAC, 1995), y de acuerdo al tratamiento correspondiente fue tratada con las soluciones de NaOH al 2, 3 y 4% en base a materia seca, con un tiempo de reacción de 24 horas y oreado por dos horas antes de ofrecerla a los cuyes. Para los correspondientes tratamientos se utilizaron 20, 30 y 40 gramos de NaOH por litro de agua por kilogramo de materia seca.

Se evaluaron cuatro tratamientos:

(T1): Totora picada sin tratamiento alcalino

(T2): Totora picada tratada con NaOH al 2%

(T3): Totora picada tratada con NaOH al 3%

(T4): Totora picada tratada con NaOH al 4%

Se realizó el análisis químico proximal de la totora y de las correspondientes heces en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional del Centro del Perú, siguiendo los protocolos de la AOAC (1995).

**Digestibilidad In Vivo**

Se utilizaron 16 cuyes machos de la Línea Inti, de 4 meses de edad, de pesos similares, distribuidos aleatoriamente en 4 grupos de cuatro cuyes cada uno. Los animales fueron alojados en jaulas metabólicas individuales ubicados en la sala de digestibilidad de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional de Huancavelica y se sometieron a un proceso previo de adaptación por siete días, en el que se sustituyó el forraje que venían consumiendo (alfalfa) por la totora convencional y las tratadas con NaOH; siendo alimentados por un periodo experimental de siete días, en que se recogieron las heces y el alimento sobrante diariamente. Las heces fueron desecadas, pesadas y trituradas para el análisis de su contenido de N mediante el método de micro Kjeldahl (AOAC, 1995).

La digestibilidad aparente (DA) para cada animal se calculó mediante la fórmula siguiente:

 (Cantidad del componente ingerido – Cantidad del componente en heces)

DA = x 100

 Cantidad del componente ingerido

Componentes: Materia seca, proteína cruda (N x 6,25).

**Análisis Estadístico**

Los coeficientes de digestibilidad de la materia seca y proteína fueron sometidos a un análisis de variancia en un diseño completamente randomizado (DCR), empleando el SPSS 16. Las diferencias estadísticas entre medias fueron determinadas aplicando la prueba de significación de Tukey, con un nivel de confianza del 95%. Previo a los análisis estadísticos, los valores porcentuales de digestibilidad fueron transformados angularmente a ArcSeno**√%**, de acuerdo a I. Bliss, citado por Snedecor y Cochran (1982).

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### El contenido de materia seca y proteína total de la totora utilizada en los ensayos de digestibilidad fue 30,87 y 13,87%, respectivamente. El contenido de materia seca es similar al reportado por Castro y Chirinos (1997), quienes para la totora sin inflorescencia y con inflorescencia reportan contenidos de materia seca de 30,69 y 31,53%; los valores de proteína total para ambas muestras fueron de 14,68 y 11,91% correspondientemente.

### En el Cuadro 1 se muestra la digestibilidad aparente de la materia seca de la totora tratada con hidróxido de sodio al 2, 3 y 4%.

De los resultados se puede observar que a mayor nivel de NaOH en el tratamiento químico de la totora se mejora la digestibilidad de la materia seca. Si se considera que la digestibilidad de materia seca obtenida sin el tratamiento alcalino como 100%, los tratamientos con 2, 3 y 4% del NaPH permitió elevarla en 2,8% (63,46 a 65,27), en 10,12% (de 63,46 a 69,88%) y en 11,65% (de 63,46 a 70,85%). Estos resultados son muy importantes puesto que el tratamiento alcalino, tal como lo reportan Chesson *et al*. (1983), Sundstol (1988), al permitir la solubilización parcial de los componentes de la fibra, como la hemicelulosa, ácidos urónicos y ésteres de ácido acético y la propia celulosa, facilitan la digestión de los diferentes componentes orgánicos y por ende mejora de manera altamente significativa la digestibilidad de la materia seca del forraje (Berger *et al*., 1994).

El hecho de elevar el nivel de NaOH de 2 a 3 y 4% permitió incrementar la digestibilidad de la materia seca en 7,06 y 8,57%, porcentajes que se encuentran en el rango reportado por Preston (1995), quien dice que un incremento en la hidratación de los forrajes debido al tratamiento alcalino puede contribuir a mejorar la digestibilidad entre el 5 y 10%. Similarmente, Katergile *et al*., (1981) al comparar el uso de combinaciones de hidróxidos (sodio y calcio) sobre la digestibilidad del rastrojo de maíz, reportan que utilizando 5% de Ca(OH)2 se mejora significativamente la digestibilidad de la materia seca.

Hay estudios que reportan mejores resultados por el efecto del uso de NaOH en pajas de trigo (Haddad *et al.,* 1995, 2014) y de cebada (Zaman *et al*., 1995), donde se informan de mejoras arriba de 20 o 30%. Mayores efectos se han reportado en bagazo de caña tratado con NaOH; así, Martín (1988) reporta un aumento en la digestibilidad de la materia seca de 60%.

En el cuadro 2 se muestra la digestibilidad aparente de la proteína cruda de la totora sin tratar y tratada con hidróxido de sodio al 2, 3 y 4%.

De los resultados se puede observar que a mayor nivel de NaOH en el tratamiento químico de la totora se mejoró significativamente la digestibilidad de la proteína cruda de la totora en los cuyes. De manera que, los contenidos de proteína digestible para la totora picada, sin tratamiento alcalino, y con NaOH al 2, 3 y 4% fueron 10,24; 10,41; 10,88 y 11,27% respectivamente, observándose que el aporte de proteína digestible al tratar a la totora con NaOH al 4% mejoró en 10,06% con respecto a la totora sin tratamiento alguno, lo cual repercutirá en la respuesta productiva de los cuyes; estando estos resultados con línea con los reportes de Preston (1995), quien refiere que el tratamiento alcalino de insumos fibrosos, mejora la digestibilidad de sus componentes orgánicos hasta en 10%. Por su parte, Ng’ambi y Campling (1991) al tratar diferentes pajas con NaOH al 4% reportan un aumento en la digestibilidad de la materia orgánica en 13% para paja de avena, 24% en la paja de trigo y 36% para la paja de cebada. Si bien estos estudios eran dirigidos hacia la alimentación de rumiantes, especialmente ovinos, en el presente estudio se evidencia que este tipo de tratamientos también es de mucha utilidad para considerarlos en la alimentación práctica de herbívoros menores como los cuyes.

### Finalmente se indica que, la digestibilidad de materia seca y proteína de la totora sin tratar (63,46% y 73,86%, respectivamente) tienen relación con los reportes de Castro y Chirinos (1997), quienes para la totora sin inflorescencia y con inflorescencia reportan coeficientes de digestibilidad de la materia seca de 76,67 y 64,62% respectivamente, y para la proteína de 83,69 y 77,05%, respectivamente, observándose los mayores coeficientes de digestibilidad en el caso de la totora sin inflorescencia ya que al madurar la planta disminuye significativamente su digestibilidad, debido a que su composición química se enriquece de fibra y disminuye la fracción proteica, y en nuestro caso la totora se encontraba en inicio de floración.

**Cuadro 1. Efecto del tratamiento con diferentes niveles de NaOH sobre la digestibilidad de la materia seca de la totora en cuyes, %**

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

 Coeficiente D.E Sig. IC, 95%

Dietas de Límite Límite

 digestibilidad Inferior superior

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Totora sin tratamiento 63,46 1,02 b 61,83 65,98

Totora tratada con NaOH al 2% 65,27 1,12 b 63,49 67,05

Totora tratada con NaOH al 3% 69,88 1,18 a 67,99 71,75

Totora tratada con NaOH al 4% 70,85 1,62 a 68,28 69,17

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

a,b, Valores promedio con letras diferentes varían estadísticamente (P<0,01).

D.E: Desviación estándar; IC: intervalo de confianza.

**Cuadro 2. Efecto del tratamiento con diferentes niveles de NaOH sobre la digestibilidad de la proteína total de la totora en cuyes, %**

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

 Coeficiente D.E Sig. IC, 95%

Dietas de Límite Límite

 digestibilidad Inferior superior

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Totora sin tratamiento 73,86 0,83 c 72,53 75,18

Totora tratada con NaOH al 2% 75,06 1,09 c 73,32 76,79

Totora tratada con NaOH al 3% 78,46 1,93 b 75,38 81,54

Totora tratada con NaOH al 4% 81,25 0,96 a 79,71 82,78

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

a,b,c Valores promedio con letras diferentes varían estadísticamente (P<0,01)

D.E: Desviación estándar; IC: intervalo de confianza.

**CONCLUSIONES**

La digestibilidad in vitro de la materia seca y proteína de la totora fue significativamente mejorada al ser tratada químicamente con NaOH al 2, 3 y 4%. La disponibilidad de la materia seca y proteína de la totora para los cuyes fue más efectiva cuando se empleó el NaOH al 4%.

**BIBLIOGRAFÍA**

1. AOAC. Official Methods of Analysis. 1995. True protein digestibility of foods and food ingredients. 2: 62. AOAC Maryland, USA.
2. Berger LL, Fahey Jr. GC, Bourquin LD, Titgermeyer EC. 1994. Modification of forage quality after harvest. In: G.C. Fahey Jr. (Edit.). National Conference on forage quality, evaluation, and utilization. University of Nebraska, Lincoln, U.S.A. April 13-15. pp. 922-966.
3. Castro J, Chirinos D. 1997. Nutrición y Alimentación de Cuyes. UNCP. Huancayo. Perú.
4. Castro J, Chirinos D. 2007. Nutrición Animal. Texto Universitario. Facultad de Zootecnia. UNCP. Huancayo. Perú.
5. Chesson A, Gordon AH, Lomax JA. 1983. Substituent groups linked by a lkali-labile bonds to arabinose and xylose residues of legume, grass and cereal straw cell walls and their fate during digestion by rumen microorganisms. J Sci Food Agr. 34:1330 – 1340.
6. Church DC, Pond WG. 1990. Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. 2da ed. p 51-6°. Ed. Limusa. México.
7. FAO/OMS. 1992. Informe de una consulta de expertos. Evaluación de la calidad de las proteínas FAO. EE.UU. 57 p.
8. Haddad SG, Grant RJ, Kachman SD. 1998. Effect of Wheat Straw Treated with Alkali on Ruminal Function and Lactational Performance of Dairy Cows. J Dairy Sci 81:1956–1965.
9. Haddad SG, Grant RJ, Klopfenstein TJ. 2014. Digestibility of Alkali-Treated Wheat Straw Measured In Vitro or In Vivo Using Holstein Heifers. Department of Animal Science, University of Nebraska, Lincoln 68583-0908.
10. Katergile JA, Urio NA, Sundstol F, Mzihirwa YG. 1981. Simplified method for alkali treatment of low quality roughages for use by small holders in developing countries. Anim. Feed Sci Technol 6:133-143.
11. Martín PC. 1988. Bagazo como alimento para rumiantes (sugar cane stalks as feed for ruminants) In: Sugar cane feed. FAO. Animal Production and Health. Paper N° 72. FAO. Rome, Italy. Pp 134-145.
12. Ng'ambi JW, Campling RC. 1991. Effects of sodium hydroxide and of energy and protein supplements on the voluntary intake and digestibility of barley, oat and wheat straw by cattle. The Journal of Agricultural Science. 117:251-256.
13. Preston TR. 1995. Tropical animal feeding -A manual for research workers. Animal Production and Health paper 126. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. pp. 83-133.
14. SnedecorGW, Cochran WG.1982.Métodos Estadísticos. CIA Editorial Continental, S.A de C.V., 9na impresión. México.
15. Sundstol F. 1988. Straw and other fibrous by-products. Livest Prod Sci. 19:137–158
16. Zaman MS, Owen E. 1995. The effect of calcium hydroxide and urea treatment of barley straw on chemical composition and digestibility in vitro; Animal Feed Science and Technology. 51:165-171.