

CALIDAD FORRAJERA Y POTENCIAL TÓXICO DE CULTIVARES DE SORGO EN FUNCIÓN DEL MOMENTO DE CORTE

Forage quality and potential toxicity of sorghum cultivars as a function of cutting moment

de Elizalde RJ¹, Druille M^{1,2*}, Clavijo MP¹, Torrecillas M³

¹ Cátedra de Forrajicultura, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina

² IFEVA, Universidad de Buenos Aires, CONICET, Facultad de Agronomía, Argentina

³ Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Argentina

*E-mail de contacto: druille@agro.uba.ar

RESUMEN

El sorgo es un cultivo valorado en sistemas ganaderos por su tolerancia a ambientes marginales y calidad forrajera. Su utilización para pastoreo directo está limitada por el riesgo de toxicidad animal, debido a la generación de ácido cianhídrico (HCN) en plantas jóvenes y rebrotes. Por ende, se suele pastorear tardíamente, con una consecuente pérdida de calidad. Si bien este riesgo podría ser menor en cultivares modernos, no se han realizado estudios que evalúen este aspecto. Los objetivos planteados fueron: 1) evaluar el porcentaje de proteína bruta (PB), la digestibilidad de la materia seca y la concentración de HCN en cultivares de sorgo defoliados de manera tradicional y anticipadamente, y 2) analizar relaciones entre la concentración de HCN, la biomasa acumulada y el porcentaje de materia seca (MS). Se analizaron dos factores: cultivar, con tres niveles (Facón, Silage King y ACA 717; inscriptos en 1991, 2002 y 2016, respectivamente) y momento de corte con dos niveles (tradicional: 70 cm y anticipado: 40 cm de altura). Cortar anticipadamente aumentó la digestibilidad en ACA 717 y Silage King en los dos primeros rebrotes, y únicamente en el primero en Facón. El porcentaje de PB se incrementó en cortes anticipados de ACA 717 en el segundo rebrote. Los valores de HCN fueron afectados por el momento de corte en el primer rebrote de los cultivares Facón y ACA 717, sin alteraciones en Silage King. El riesgo de toxicidad se manifestó en cortes que acumularon menos de 2000 kgMS/ha, y se asoció negativamente al porcentaje de MS únicamente en ACA 717. Se concluye que el riesgo de toxicidad se encuentra principalmente en el primer corte y en casos de baja acumulación de biomasa, con marcada variabilidad entre cultivares. Es necesario seguir evaluando estos aspectos bajo condiciones ambientales diversas para poder establecer materiales apropiados para el manejo de corte anticipado, que se traduzcan en una mayor calidad forrajera sin riesgos de toxicidad animal.

Palabras clave. ácido cianhídrico, intoxicación bovina, proteína bruta, digestibilidad, *Sorghum bicolor*.

ABSTRACT

Sorghum is a key crop in livestock systems, valued for its tolerance to marginal environments and forage quality. Its use under direct grazing is limited by the risk of animal toxicity, due to the generation of hydrocyanic acid (HCN) in young plants and regrowth. Therefore, this crop is commonly grazed late in the season with a consequent quality loss. Although this risk could be lower in modern cultivars, there have been no studies evaluating this aspect. The objectives set were: 1) to evaluate the percentage of crude protein (%CP), the dry matter digestibility and the HCN concentration of sorghum cultivars defoliated in the traditional and anticipated ways, and 2) to analyze relationships between the HCN concentration, the accumulated biomass and the percentage of dry matter (DM). Two factors were analyzed: cultivar, with three levels (Facón, Silage King and ACA 717; registered in 1991, 2002 and 2016, respectively) and cutting moment with two levels (traditional: 70 cm and anticipated: 40 cm of height). Anticipated cuts increased the digestibility in ACA 717 and Silage King in the first two regrowths, and only in the first regrowth in Facón. The percentage of CP increased in anticipated cuts of ACA 717, only in the second regrowth. The HCN values were affected by cutting moment only in the first regrowth of Facón and ACA 717, without alterations in Silage King. The risk of toxicity was manifested in cuts that accumulated less than 2000 kgDM/ha, and was negatively associated with DM percentage only in ACA 717. It is concluded that the risk of toxicity is found mainly in the first regrowth and in cases of low biomass accumulation, with significant variability among cultivars. It is necessary to continue evaluating these aspects under diverse environmental conditions in order to establish suitable materials for anticipated defoliation management, resulting in higher forage quality without risks of animal toxicity.

Key words. hydrocyanic acid, livestock intoxication, crude protein, digestibility, *Sorghum bicolor*.

Recibido: agosto 2022

Aceptado: febrero 2023

Introducción

En la Región Pampeana, históricamente las pasturas perennes fueron la principal fuente forrajera primavera-estival. Con el avance de la agricultura la utilización de dichos recursos fue decreciendo, cobrando mayor relevancia los cultivos forrajeros anuales como el sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] (Tranier Perez y Mayo 2017). Esta especie tolera cierto grado de salinidad, alcalinidad y pobre drenaje, y resiste temperaturas extremas y estrés hídrico debido su alta eficiencia del uso del agua y un sistema radical profundo (Netondo et al. 2004; Hariprasanna y Patil 2015; Yahaya y Shimelis 2022). Estas características le imprimen una gran estabilidad de rendimiento en ambientes marginales (Khandelwal et al. 2019). A su vez, su uso como verdeo estival es muy interesante por su calidad forrajera (Fassio et al. 2002) debido a su capacidad de rebrote y la alta relación hoja/tallo (Vargas Rodríguez 2005; Carrasco et al. 2011). Otra de las características que le dan versatilidad y alternativas de utilización es la variabilidad genética, y los distintos cultivares presentes en el mercado (Vallati y Bolleta 2007; Carrasco et al. 2011) dentro de los cuales se pueden encontrar materiales forrajeros tipo sudan (producen gran cantidad de forraje de calidad, y tienen alta capacidad de rebrote), fotosensitivos (retrasan su entrada a floración) y BMR (*Brown Mid Rib*, con bajo contenido de lignina), graníferos y sileros.

Todos los cultivares de sorgo tienen metabolitos secundarios llamados glucósidos cianogénicos (dhurrina) que se vuelven tóxicos para el ganado cuando son hidrolizados por la enzima β -glucosidasa. Este proceso conocido como cianogénesis, tiene como resultado la producción de ácido cianhídrico (HCN) (Morant et al. 2008). La función del HCN en las plantas no está completamente determinada, pero hay evidencias de que este compuesto le otorga resistencia frente a estreses bióticos y abióticos (Jones 1998; Tattersall et al. 2001; Zagrobelny et al. 2004). Los glucósidos cianogénicos y la enzima hidrolítica se encuentran en compartimentos separados. Por ende, para que éstos entren en contacto y se desencadene el proceso de hidrólisis, es indispensable que se produzca la ruptura de los tejidos (Kojima et al. 1979). Algunas de las causas que pueden generar esta ruptura son el clima (helada o granizo), el manejo (corte, picado o pisoteo del forraje), y la masticación y degradación del forraje por los microorganismos del rumen (Busk y Moller 2002; Bretschneider 2011).

La concentración de HCN está determinada por factores relacionados con la planta y con las condiciones climáticas durante su crecimiento. Las características de la planta que determinan la concentración de HCN son el cultivar (Gillingham et al. 1969; Mohanraj et al. 2006; Oten 2017) y el estado de desarrollo (Busk y Moller 2002; Gleadow et al. 2021). En cuanto al cultivar, los graníferos son los que presentan mayor potencial tóxico, los sileros de riesgo intermedio, mientras que los forrajeros son los de menor peligrosidad (Bretschneider 2011). En cuanto al desarrollo, los rebrotes o plantas con poco desarrollo presentan mayor potencial tóxico que las plantas con mayor desarrollo, ya que el nivel de toxicidad en hojas jóvenes, hojas adultas y tallos es alto, medio y bajo, respectivamente (Plorutti 2014; Gleadow et al. 2021). Por un lado, esto se debe a que los tejidos jóvenes son destinos prioritarios para el transporte de

dhurrina (Gleadow et al. 2021). Por otro lado, a medida que la planta crece la dhurrina se diluye en la materia seca y no hay peligro para su consumo (Pandey et al. 2011; Gallego et al. 2022). En relación a los factores climáticos, la toxicidad se incrementa en períodos de sequía prolongados (Wheeler et al. 1990). El mayor riesgo en períodos de estrés hídrico estaría relacionado a la restricción del crecimiento de la planta, que conlleva a una mayor concentración de HCN en los tejidos (Shehab et al. 2020).

La medida de manejo más utilizada para reducir la probabilidad de intoxicación es pastorear sorgos tardíamente, con al menos 60-70 cm de altura, ya que existe una relación negativa entre la concentración de HCN y el desarrollo de la planta medido como la altura del cultivo (Gillingham et al. 1969; Al-Beiruty et al. 2020). Dicho manejo implica una relación de compromiso entre disminuir los niveles de HCN y procurar la ingesta de forraje de calidad. Esto se debe a que la relación hoja/tallo disminuye y los contenidos de lignina se incrementan a medida que aumenta la altura de la planta y avanza su desarrollo (Ball et al. 2001). Si bien el mejoramiento genético se ha enfocado en disminuir la concentración de HCN de materiales forrajeros, el pastoreo anticipado (cuando las plantas tienen una altura menor) no ha sido una práctica adoptada en el ámbito productivo, en parte por la falta de estudios que avalen el bajo riesgo de intoxicación. Los objetivos de este trabajo fueron: 1) evaluar la calidad del forraje y el potencial tóxico de tres cultivares de sorgo manejados con el pastoreo tradicional (corte a los 70 cm de altura) y un pastoreo anticipado (corte a los 40 cm), y 2) analizar posibles relaciones entre la concentración de HCN, la biomasa acumulada y el porcentaje de materia seca.

Materiales y Métodos

Sitio de estudio y diseño experimental

El ensayo se realizó en el campo experimental de la Cátedra de Forrajicultura de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (34° 35' S, 58° 29' O). El suelo fue clasificado como Argiudol típico (US Soil Survey Staff 1975). La siembra se realizó el 3 de diciembre de 2019, con una densidad de 25 kg/ha (60 pl/m²) y se fertilizó con 130 kg/ha de Nitrocomplex Zar (21-17-3 + 1% MgO + 5% S + 0.1% Zn). Las precipitaciones acumuladas y la temperatura media para la estación de crecimiento del cultivo fueron de 272 mm y 24,5°C respectivamente (Servicio Meteorológico Nacional). Las temperaturas registradas fueron cercanas al promedio (18,2°C), mientras que las precipitaciones fueron 31% inferiores al promedio histórico (1307 mm, 2000-2020).

El ensayo constó de dos factores: 1) cultivar, con tres niveles: Facón (fotosensitivo), ACA 717 (forrajero BMR), y Silage King (silero); y 2) momento de corte, con dos niveles: tradicional (corte a 70 cm) y anticipado (corte a 40 cm), obteniendo un total de seis tratamientos. La duración del ensayo fue de 100 días, lo que permitió la evaluación de tres rebrotes en los tratamientos anticipados, mientras que en los tratamientos tradicionales únicamente se pudieron analizar dos. Por lo tanto, la evaluación de los seis tratamientos se realizó en los dos primeros rebrotes, mientras que en el tercero sólo fue evaluado el efecto del cultivar en los tratamientos de cortes anticipados. Se decidió incorporar

al análisis un cultivar silero, debido a su uso circunstancial para pastoreo directo y silo. En cuanto a la fecha de inscripción en el Registro Nacional de Cultivares, Facón es el más antiguo (1991), seguido por Silage King (2002) y ACA 717 (2016). El criterio para determinar el momento de corte consistió en que el 50% de las plantas alcancen una altura de 40 o 70 cm, para los tratamientos de cortes anticipados y tradicionales, respectivamente. Cada unidad experimental consistió en tres surcos con un distanciamiento de 0,38 m, y 1 m de longitud. El distanciamiento entre unidades experimentales fue de 0,5 m. El diseño fue completamente aleatorizado, con cinco repeticiones. A lo largo del experimento las plantas se mantuvieron en condiciones de secano.

Mediciones realizadas

Para la estimación de la biomasa acumulada (kgMS/ha) se consideró como unidad de muestreo los 50 cm centrales de los tres surcos de cada unidad experimental. El corte de biomasa se realizó manualmente con tijera dejando un remanente de 10 cm de altura desde la superficie del suelo. El material se pesó para obtener la biomasa fresca. El porcentaje de materia seca se determinó a partir de una submuestra de nueve macollos seleccionados al azar. Esta se pesó, y se secó en estufa a 60°C hasta alcanzar peso constante. Una vez determinado, se afectó la biomasa fresca por dicho porcentaje, obteniéndose así la biomasa acumulada en base seca (kgMS/ha).

De la submuestra utilizada para la estimación del porcentaje de materia seca, se eligieron al azar cinco macollos para realizar los análisis de calidad. Los mismos fueron realizados en el laboratorio de la FCA - Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Las variables determinadas fueron: contenido de proteína bruta (PB), y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (MS). Estas estimaciones se llevaron a cabo mediante el uso de NIRS (Near infrared reflectance spectroscopy) 6500 Foss (Foss NIRS systems Inc., Silver Spring, MD, USA). Las curvas de calibración existentes para dichos parámetros de calidad han sido construidas basados en las siguientes técnicas de referencia:

- Digestibilidad *in vitro*: Método de solución enzimática (pepsina + celulasa), utilizando bolsitas filtrables (Vogel *et al.* 1999) en el incubador Daisy II (Ankom).
- Contenido de proteína bruta: Determinación de nitrógeno total a través de la metodología Dumas mediante la utilización del equipo LECO FP-528 (Wiles *et al.* 1998).

Para la determinación de HCN, se utilizaron tres macollos escogidos al azar ubicados por fuera de la unidad de muestreo destinada a la estimación de biomasa acumulada. Se utilizó la reacción de Grignard (Giannuzzi *et al.* 2006), que detecta la presencia de HCN al actuar éste sobre una tira de papel picrosódico absorbente impregnada con ácido pícrico y carbonato de sodio (picrato de sodio). El material cosechado fue triturado y una alícuota fue introducida en un frasco con la tira de papel picrosódico. A las 24 h se observaron los cambios de coloración producidos en dicho papel. Para la estimación

cuantitativa se utilizó la escala colorimétrica propuesta por Moriasi Gervason *et al.* (2017), adaptada de Bradbury (1999). Esta escala se asocia a un rango de HCN (ppm) base húmeda. Existen discrepancias en cuanto al umbral de HCN a partir del cual se manifiesta toxicidad en mamíferos (*e.g.* Levin 1996; Ramteke *et al.* 2019). En este estudio se consideró un umbral de 40 ppm, valor levemente menor al mínimo reportado, considerando que incluso trazas de HCN produce en el animal una intoxicación subclínica que afecta la oxigenación de los tejidos, disminuyendo la producción secundaria (Bavera 2006).

Análisis estadísticos

Se utilizó el método de análisis de varianza (ANOVA) para evaluar cambios en la digestibilidad y PB en función del cultivar y momento de corte, y cambios en la concentración de HCN en función de la biomasa acumulada, utilizando el software Infostat (Di Rienzo *et al.* 2013). En los dos primeros rebrotes, los ANOVA se realizaron teniendo en cuenta el factor momento de corte, el factor cultivar y su interacción. En el tercer rebrote los ANOVA se realizaron utilizando al factor cultivar como efecto fijo. Para analizar los cambios en la concentración de HCN en función del cultivar y momento de corte en cada rebrote se utilizaron modelos mixtos generalizados (glmer) con el paquete lme4 de software R (R Development Core Team 2015), ya que no se cumplían los supuestos del ANOVA. Para analizar la relación entre la concentración de HCN y la biomasa acumulada, se categorizó arbitrariamente la biomasa en cuatro grupos: menos de 1000, entre 1000 y 2000, entre 2000 y 3000 y más de 3000 KgMS/ha. La relación entre la concentración de HCN y el porcentaje de materia seca en cada cultivar se realizó mediante regresiones lineales. En todos los casos se consideró un nivel de significancia de 0,05. Se utilizó el test de Tukey como procedimiento para separar los valores medios cuando el valor de *F* resultó significativo para los efectos de cultivar y momento de corte. Los valores medios fueron reportados junto a sus errores estándar.

Resultados

Calidad forrajera: Digestibilidad de la MS y proteína bruta

El efecto del momento de corte y cultivar sobre la digestibilidad del forraje varió a lo largo del ciclo de crecimiento. En el primer rebrote, existió sólo un efecto significativo del momento de corte ($P=0,007$; Figura 1A). La digestibilidad promedio de todos los cultivares fue mayor en el corte anticipado respecto al corte tradicional, siendo relativamente leve la diferencia detectada (56,3 y 55,1% en cortes anticipados y tradicionales, respectivamente). En el segundo rebrote, existió una interacción significativa entre el cultivar y el momento de corte ($P=0,001$; Figura 1B). El corte anticipado generó un marcado aumento de la digestibilidad en Silage King y ACA 717, mientras que Facón no mostró diferencias para ambos momentos de corte. En el tercer rebrote, la digestibilidad de los sorgos cortados anticipadamente varió de manera significativa en función del cultivar ($P<0,001$; Figura 1C). El cultivar ACA 717 presentó una digestibilidad 8% y 11% superior a los de Silage King y Facón, respectivamente.

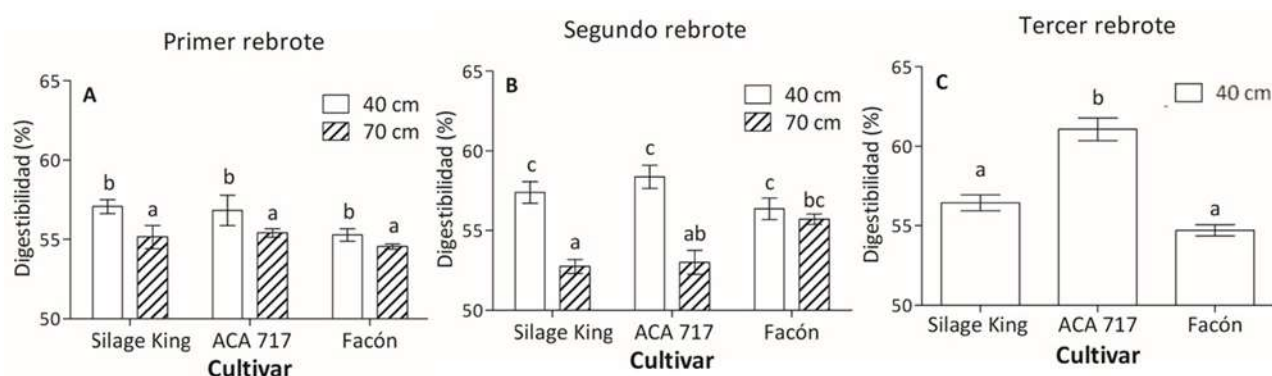


Figura 1. Digestibilidad de la materia seca de sorgo en función del cultivar y momento de corte (anticipado: 40 y tradicional: 70 cm de altura) en el primer (A) y segundo (B) rebrote. Para el tercer rebrote se presentan los valores de digestibilidad en función del cultivar correspondientes al corte anticipado (C). Medias con diferentes letras dentro de un mismo rebrote difieren significativamente ($P < 0,05$). Las barras indican el error estándar.

Figure 1. Dry matter digestibility of sorghum as a function of cultivar and cutting moment (anticipated: 40, and traditional: 70 cm height) in the first (A) and second (B) regrowth. For the third regrowth, dry matter digestibility as a function of the cultivar corresponding to the anticipated cut is shown (C). Means with different letters within the same regrowth differ significantly ($P < 0,05$). The bars indicate the standard error.

El efecto del momento de corte y cultivar sobre el porcentaje de PB también varió a lo largo del ciclo de crecimiento. En el primer rebrote no se detectaron diferencias significativas del cultivar, momento de corte ni de su interacción ($P > 0,05$; Figura 2A). En el segundo rebrote se encontró una interacción significativa entre ambos factores ($P < 0,001$; Figura 2B), siendo ACA 717 el único que respondió al momento de corte. El porcentaje de proteína bruta de este cultivar fue mayor en el corte anticipado en relación al tardío (8,35 y 9,03% para 70 y 40 cm, respectivamente). En el tercer rebrote, se detectó un efecto significativo del cultivar ($P < 0,001$; Figura 2C), siendo Facón el que presentó el menor porcentaje de proteína bruta.

Potencial tóxico por ácido cianhídrico

En el primer rebrote se observó una interacción significativa entre el cultivar de sorgo y el momento de corte ($P < 0,001$; Figura 3). Tanto ACA 717 cortado anticipadamente como Facón cortado tardíamente mostraron concentraciones significativamente mayores al resto de los tratamientos y por encima del umbral a partir del cual comienza a ser tóxico para el ganado (40 ppm). En el segundo rebrote no se observaron diferencias significativas entre cultivares ni momentos de corte ($P > 0,05$), y en todos los casos la concentración estuvo por debajo del umbral de toxicidad. En el tercer rebrote se detectó un efecto significativo del cultivar ($P < 0,001$), presentando Silage King un 64% menos de HCN que Facón y ACA 717, siendo en todos los casos valores por debajo del umbral de toxicidad.

Relación entre concentración de HCN y biomasa acumulada

Se observó que en los cortes que acumularon entre 1000 y 2000 kg MS/ha, el contenido de HCN fue significativamente mayor que aquellos en los que la biomasa acumulada fue superior a los 2000 kg MS/ha ($P < 0,001$; Figura 4). En los cortes con biomasa acumulada menor a 1000 kg MS/ha hubo una tendencia a contener alta concentración de HCN. A su vez, se constató que en los cortes con biomasa acumulada menor a 2000 kg MS/ha las altas concentraciones de HCN correspondían al primer rebrote (72,5 ppm HCN), mientras que los del segundo o tercer rebrote la concentración de HCN fue menor (5-32,5 ppm HCN).

Relación entre concentración de HCN y porcentaje de materia seca

Analizando todos los cultivares de manera conjunta, se observó que la concentración de HCN se correlacionó de manera significativa y negativa con el porcentaje de materia seca, aunque con un bajo coeficiente de correlación ($P < 0,001$; $R^2 = 0,16$). Al evaluar cada cultivar de manera independiente, se encontró que únicamente en ACA 717 existió una correlación significativa y negativa entre ambas variables ($P < 0,001$; $R^2 = 0,52$). El cultivar Silage King se destacó por presentar concentraciones muy bajas de HCN en todo su rango de porcentaje de materia seca (Figura 5).

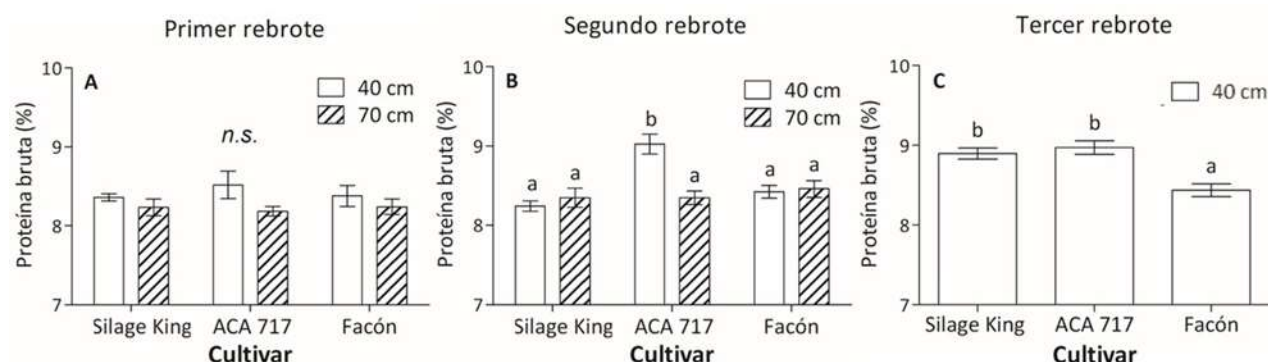


Figura 2. Porcentaje de proteína bruta de sorgo en función del cultivar y momento de corte (anticipado: 40 y tradicional: 70 cm de altura) en el primer (A) y segundo (B) rebrote. Para el tercer rebrote se presentan los valores de porcentaje de proteína bruta en función del cultivar correspondientes al corte anticipado (C). Medias con diferentes letras dentro de un mismo rebrote difieren significativamente ($P < 0,05$). Las barras indican el error estándar.

Figure 2. Crude protein percentage of sorghum as a function of cultivar and cutting moment (anticipated: 40, and traditional: 70 cm height) in the first (A) and second (B) regrowth. For the third regrowth, crude protein percentage as a function of the cultivar corresponding to the anticipated cut is shown (C). Means with different letters within the same regrowth differ significantly ($P < 0,05$). The bars indicate the standard error.

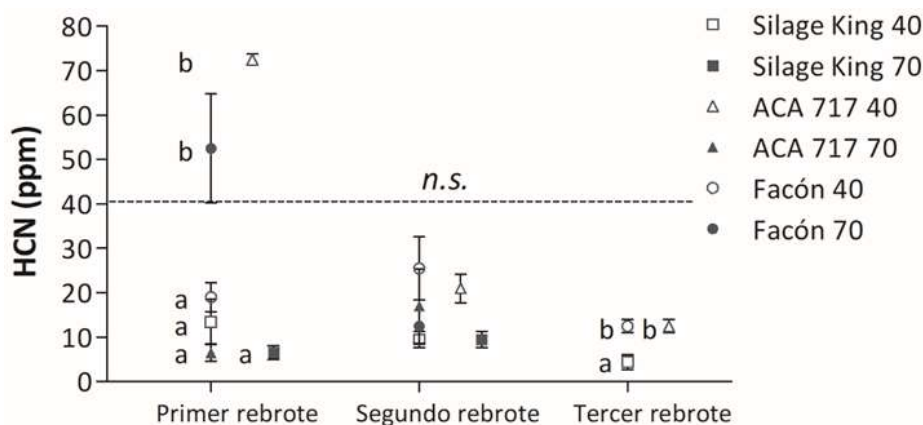


Figura 3. Concentración de ácido cianhídrico (HCN) promedio para los distintos cultivares de sorgo, en función del momento de corte en cada uno de los rebrotes evaluados. La línea punteada indica el valor considerado como umbral, a partir del cual se manifiesta la toxicidad para el ganado. Medias con diferentes letras dentro de un mismo rebrote difieren significativamente ($P < 0,05$). Las barras indican el error estándar.

Figure 3. Average concentration of hydrocyanic acid (HCN) for the different sorghum cultivars, as a function of the cutting moment in each of the evaluated regrowth. The dotted line indicates the value considered as a threshold, from which toxicity for livestock is manifested. Means with different letters within the same regrowth differ significantly ($P < 0,05$). The bars indicate the standard error.

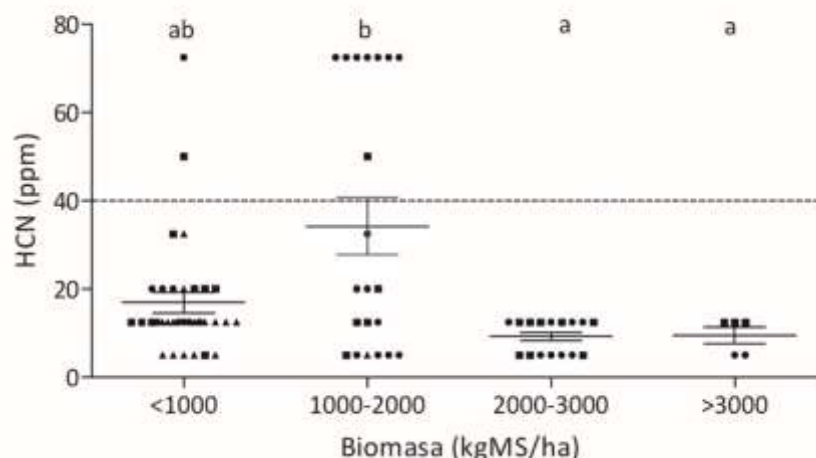


Figura 4. Concentración de ácido cianhídrico (HCN) en función de la biomasa acumulada en el primer, segundo y tercer rebrote (círculos, cuadrados y triángulos, respectivamente). La línea punteada indica el valor considerado como umbral, a partir del cual se manifiesta la toxicidad para el ganado. Medias con diferentes letras dentro de un mismo rebrote difieren significativamente ($P < 0,05$). Las barras indican el error estándar.

Figure 4. Concentration of hydrocyanic acid (HCN) as a function of the accumulated biomass in the first, second and third regrowth (circles, squares and triangles, respectively). The dotted line indicates the value considered as a threshold, from which toxicity for livestock is manifested. Means with different letters within the same regrowth differ significantly ($P < 0,05$). The bars indicate the standard error.

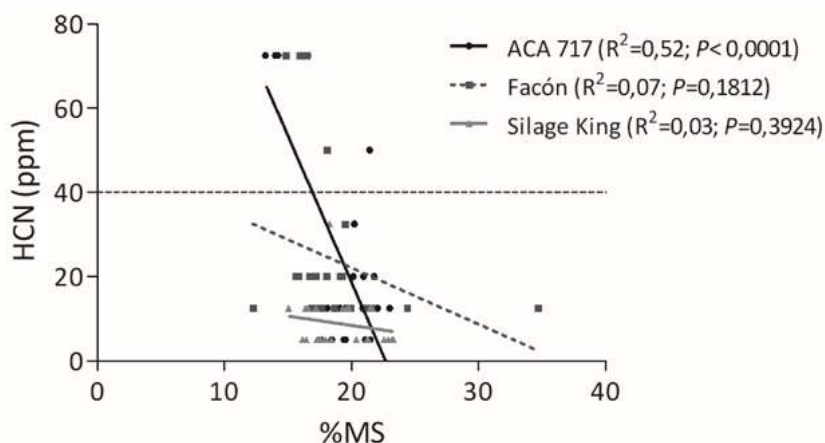


Figura 5. Variación en la concentración de ácido cianhídrico (HCN) en función del porcentaje de materia seca (%MS) para cada uno de los cultivares de sorgo evaluados. La línea punteada indica el valor considerado como umbral, a partir del cual se manifiesta la toxicidad para el ganado. Los tres genotipos presentaron pendientes significativamente distintas entre sí ($P = 0,0003$).

Figure 5. Variation in the hydrocyanic acid (HCN) concentration as a function of the dry matter percentage (%DM) for each cultivar of sorghum evaluated. The dotted line indicates the value considered as a threshold, from which toxicity for livestock is manifested. The three genotypes presented slopes significantly different from each other ($P = 0,0003$).

Discusión

Los resultados obtenidos demuestran que, bajo las condiciones climáticas de este experimento, tanto el efecto del momento de corte sobre la calidad forrajera y el potencial tóxico de sorgo, como la relación entre este último y el porcentaje de materia seca están determinados en gran medida por el cultivar. Adelantar el momento del corte (*i.e.* a 40 cm de altura) generó un aumento de la digestibilidad en Silage King y ACA 717 en los dos primeros rebrotes, mientras que en el cultivar Facón el aumento se evidenció únicamente en el primero. El porcentaje de proteína bruta se incrementó un 8,3% en cortes anticipados de ACA 717, únicamente en el segundo rebrote evaluado. En relación al potencial tóxico, se observó que los valores de ácido cianhídrico fueron afectados por el momento de corte únicamente en el primer rebrote de los cultivares Facón y ACA 717, sin alteraciones en Silage King. En el primer y segundo rebrote, el riesgo de toxicidad se manifestó en cortes que acumularon menos de 2000 kgMS/ha, y se asoció negativamente al porcentaje de materia seca únicamente en ACA 717. Los resultados de este trabajo permiten avanzar en la generación de manejos de pastoreo que impliquen un uso más eficiente del verdeo de sorgo, al mismo tiempo que destacan la notable variabilidad existente entre los diferentes cultivares.

En relación a la calidad, los valores de proteína bruta variaron entre 8,2% y 9%, y los porcentajes de digestibilidad entre 52,7% y 61,1%, siendo estos rangos similares a los reportados en trabajos previos (Torrecillas y Bertoia 2008; Ferreira *et al.* 2018). El cultivar ACA 717 fue el que mayor respuesta presentó al corte anticipado (40 cm) en el segundo rebrote, siendo mayor el contenido de proteína bruta y digestibilidad en relación al corte tradicional (70 cm). Este cultivar se destacó por su elevada digestibilidad en el tercer rebrote, coincidiendo con lo reportado por Sriagutla *et al.* (2021). Estos autores encontraron que las diferencias en el porcentaje de nutrientes digestibles totales entre líneas BMR y no BMR se incrementaron hacia el final del ciclo de crecimiento, debido al menor contenido de fibra y mayor contenido de carbohidratos solubles en el estado de masa dura. Esta ventaja nutricional de los materiales BMR permiten una mayor ganancia diaria de peso vivo de los animales (Banta *et al.* 2005; McCuiston *et al.* 2011). Por el contrario, el cultivar Facón mostró muy poca variación en términos de calidad forrajera al modificarse el momento de corte. Esto podría deberse al alargamiento de la fase vegetativa, característico de los materiales fotosensitivos (Hariprasanna y Patil 2015), que retrasaría el aumento del contenido de lignina asociado al estado reproductivo.

El efecto del momento de corte sobre los niveles de HCN dependió del ciclo de crecimiento y del cultivar. Únicamente en el primer rebrote se detectaron niveles por encima del umbral de toxicidad. En el cultivar más moderno (ACA 717) la entrada a los 40 cm en etapas tempranas del cultivo puede llevar a riesgos de intoxicación debido su bajo contenido de materia seca (James y Gray 1975; Gallego *et al.* 2022). Al avanzar el ciclo, la disminución en el contenido de HCN podría deberse al aumento en la proporción de tallo (con bajo contenido de HCN) con relación a las hojas, produciendo un efecto dilución (Saini y Tiwana 2013), no evidenciándose diferencias entre alturas de corte. El efecto

dilución fue corroborado *a posteriori* utilizando la curva de dilución del nitrógeno propuesta por Lemaire y Meynard (1997; datos no mostrados). Además, en dicho cultivar se observó mayor digestibilidad en los cortes a 40 cm, y si tenemos en cuenta que el potencial tóxico a dicha altura de corte fue bajo a partir del segundo rebrote, este material ofrecería posibilidades de eficientizar su uso realizando cortes anticipados antes de que se alcancen los 70 cm de altura. En el caso del cultivar Facón, la falta de correlación entre la concentración de HCN y el porcentaje de MS podría deberse a la menor fluctuación que esta variable presenta en materiales fotosensitivos, debido a la mayor duración de la fase vegetativa (Hariprasanna y Patil 2015). En el segundo rebrote no se observaron diferencias significativas en la concentración de HCN entre momentos de corte en ninguno de los tres cultivares evaluados. Estos resultados difieren de los reportados por Oten (2017), donde el momento de corte se relaciona de manera inversa con los niveles de HCN, aunque en todos los casos los valores se encuentran por debajo del umbral de toxicidad. El cultivar Silage King presentó bajos niveles de HCN en todos los rebrotes y momentos de corte. Este comportamiento no coincide con el esperado, teniendo en cuenta que los cultivares sileros son considerados más riesgosos que los forrajeros (Bretschneider 2011). Estos resultados resaltan la necesidad de seguir evaluando el potencial tóxico de los cultivares presentes en el mercado, ya que la información disponible es muy escasa.

Las condiciones ambientales que experimentan las plantas de sorgo (principalmente la disponibilidad de agua y nutrientes) son determinantes de la expresión del potencial tóxico (Wheeler *et al.* 1990; Busk y Moller 2002; Castro y Rodríguez 2012). Por un lado, durante el período experimental no hubo déficits hídricos prolongados, principal factor que desata la toxicidad (Emendack *et al.* 2018). Por lo tanto, futuros estudios que evalúen el efecto del momento de corte sobre la concentración de ácido cianhídrico en situaciones más críticas de humedad serán necesarios para analizar el riesgo de toxicidad. Por otro lado, las respuestas encontradas pueden variar en función de la disponibilidad de nutrientes en el suelo. El riesgo de toxicidad se incrementa con altos niveles de nitrógeno y deficiencias de fósforo (Saini y Tiwana 2013; Oten 2017). Una estimación *a posteriori* del estado nutricional del cultivo que considera el porcentaje de nitrógeno y la biomasa acumulada (Lemaire y Meynard 1997) demostró que en este experimento las plantas de sorgo presentaron déficit de este nutriente a lo largo de todo el ciclo de crecimiento (datos no mostrados). Por ende, futuras investigaciones son necesarias para evaluar el potencial tóxico en suelos con mayor disponibilidad de nitrógeno.

Se concluye que las variaciones en la calidad forrajera y potencial tóxico de sorgo en función del momento de corte están determinadas en gran medida por el tipo de sorgo (*i.e.* fotosensitivo, BMR o silero). Si bien ha habido énfasis en el uso de genotipos con bajo contenido de HCN para el mejoramiento de sorgo forrajero (Pushpa *et al.* 2019), es necesario seguir evaluando el comportamiento de cultivares modernos bajo condiciones climáticas diversas para poder establecer aquellos apropiados para el manejo de corte anticipado, que se traduzcan

en una mayor calidad forrajera sin riesgos de toxicidad animal. Este aspecto se torna más crítico en materiales que no han sido seleccionados específicamente para pastoreo (e.g. sileros y graníferos) y que son oportunamente utilizados para este fin en situaciones de déficit forrajero.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración de Francisco Caimi durante la instalación y cosecha del experimento, y posterior procesamiento de muestras. Los comentarios constructivos de dos revisores anónimos y el editor mejoraron considerablemente la calidad del manuscrito.

Contribuciones de los autores

de Elizalde RJ: escritura protagónica del artículo, ejecución de experimento, obtención de muestras, procesamiento de datos y análisis de resultados. Druille M: diseño de experimento, análisis de resultados, responsabilidad por la integridad y coherencia del artículo. Clavijo MP y Torrecillas M: diseño de experimento, análisis de resultados, interpretación de resultados.

BIBLIOGRAFÍA

- Al-Beiruty RZA, Cheyed SH, Hashim MH (2020) Hazards of toxic hydrocyanic acid (HCN) in sorghum and ways to control it: A review. *Plant Archives* **20**, 2726-2731.
- Ball DM, Collins M, Lacefield GD, Martin NP, Mertens DA, Olson KE, Putnam DH, Undersander DJ, Wolf MW (2001) Understanding forage quality. *American Farm Bureau Federation Publication* 1-01, Park Ridge, Illinois, USA.
- Banta JB, McCollum FT, Greene LW (2005) The effects of grazing a brown midrib vs a conventional sorghum x sudan hybrid on animal performance and gain/ha. *Journal of Animal Science* **79**, 458.
- Bavera GA (2006). Suplementación mineral y con nitrógeno no proteico del bovino a pastoreo. 3ª ed. 280 pp. (Edición del autor: Rio Cuarto, Argentina).
- Bradbury M, Egan S, Bradbury J (1999) Determination of all forms of cyanogens in cassava roots and cassava products using picrate paper kits. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **79**, 593-601.
- Bretschneider G (2011) Intoxicación del ganado con ácido cianhídrico. Artículo de divulgación. EEA Rafaela. INTA. <https://inta.gob.ar/documentos/intoxicacion-del-ganado-con-acido-cianhidrico>
- Busk PK, Møller BL (2002) Dhurrin synthesis in sorghum is regulated at the transcriptional level and induced by nitrogen fertilization in older plants. *Plant Physiology* **129**, 1222-1231.
- Carrasco N, Zamora M, Melin AA (2011) Manual de Sorgo. 1º ed. Chacra Experimental Integrada Barrow. (INTA Ediciones: Buenos Aires).
- Castro A, Rodríguez MG (2012) Reacción de Grignard para detectar compuestos del ácido cianhídrico en sorgo. EEA Bordenave. INTA. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_reaccion_de_grignard_para_detectar_acido_cianidr.pdf
- Di Rienzo JA, Casanoves F, Balzarini MG, González L, Tablada M, Robledo CW (2013) InfoStat: Statistical Software; Grupo InfoStat. (FCA, Universidad Nacional de Córdoba: Córdoba, Argentina).
- Emendack Y, Burke J, Laza H, Sanchez J, Hayes C (2018) Abiotic stress effects on sorghum leaf dhurrin and soluble sugar contents throughout plant development. *Crop Science* **58**, 1706-1716.
- Fassio A, Cazzolino D, Ibañez W, Fernández E (2002) Sorgo: Destino forrajero. Serie Técnica N° 127. Unidad de Agronegocios y Difusión del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Uruguay.
- Ferreira DA, Gonçalves LC, Rodríguez JAS (2018) Ruminant degradability of brown-midrib sorghum-sudangrass hybrids for cutting and grazing. *Revista Ciência Agrônômica* **49**, 141-149.
- Gallego JJ, Miñón DP, Barbarossa RA, Colabelli MR, Neira Zilli F, Zubillaga MF (2022) El cultivo de sorgo en los valles regados templados fríos de la Norpatagonia. Información Técnica N° 40. Año 11 N° 22. EEA Valle Inferior, Viedma, Río Negro. (INTA Ediciones: Buenos Aires).
- Giannuzzi L, Tomas MC, Ferrari LA (2006) Tóxicos Volátiles y Gaseosos. En 'Manual de Técnicas Analíticas en el Laboratorio de Toxicología y Química Forense' (Ed. Giannuzzi L, Ferrari LA) pp. 77-121. (Editorial Praia: Buenos Aires).
- Gillingham JT, Shirer MM, Starnes JJ, Page NR, McClain EF (1969) Relative occurrence of toxic concentrations of cyanide and nitrates in varieties of sudangrass and sudangrass-sorghum hybrids. *Agronomy Journal* **61**, 727-730.
- Gleadow RM, McKinley BA, Blomstedt CK, Lamb AC, Møller BL, Mullet JE (2021) Regulation of dhurrin pathway gene expression during Sorghum bicolor development. *Planta* **254**, 119.
- Hariprasanna K, Patil JV (2015) Sorghum: Origin, classification, biology and improvement. In 'Sorghum molecular breeding'. (Eds. Madhusudhana R, Rajendrakumar P, Patil J) pp. 3-22. (Springer: New Delhi).
- James JH, Gray E (1975) Relation of hydrocyanic acid potential to morphological characteristics and dry matter percentage of sorghum. *Agronomy Journal* **67**, 82-84.
- Jones DA (1998) Why are so many food plants cyanogenic? *Phytochemistry* **47**, 155-162.
- Khandelwal V, Khandelwal A, Dhoot M (2019) Genetic divergence studies for morphological traits in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] over the environments. *Current Journal of Applied Science and Technology* **38**, 1-7.
- Kojima M, Poulton JE, Thayer SS, Conn EE (1979) Tissue distributions of dhurrin and of enzymes involved in its metabolism in leaves of *Sorghum bicolor*. *Plant Physiology* **63**, 1022-1028.
- Lemaire G, Meynard JM (1997) Use of the Nitrogen Nutrition Index for the analysis of agronomical data. In 'Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops'. (Ed. Lemaire G) pp. 45-55. (Springer: Berlin, Heidelberg).
- Levin BC (1996) New research avenues in toxicology: 7-gas N-Gas Model, toxicant suppressants, and genetic toxicology. *Toxicology* **115**, 89-106.

- McCuistion KC, McCollum FT, Greene LW, MacDonald J, Bean B (2011) Performance of stocker cattle grazing 2 sorghum-sudangrass hybrids under various stocking rates. *The Professional Animal Scientist* **27**, 92-100.
- Mohanraj K, Gopalan A, Shanmuganathan M (2006) Genetic parameters for hydrocyanic acid content in forage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Journal of Agricultural Sciences* **2**, 59-62.
- Morant AV, Jørgensen K, Jørgensen C, Paquette SM, Sánchez-Pérez R, Møller BL, Bak S (2008) β -Glucosidases as detonators of plant chemical defense. *Phytochemistry* **69**, 1795-1813.
- Moriasi Gervason A, Olela BO, Waiganjo BW, Wakori EW, Onyancha JM (2017). Evaluation of Cyanide Levels in Two Cassava Varieties (*Mariwa* and *Nyakatanegi*) Grown in Baragulu, Siaya County, Kenya. *Journal of Food and Nutrition Research* **5**, 817-823.
- Netondo GW, Onyango JC, Beck E (2004) Sorghum and salinity. *Crop Science* **44**, 797-805.
- Oten M (2017) The effects of different sowing time and harvesting height on hydrocyanic acid content in some silage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) varieties. *Turkish Journal of Field Crops* **22**, 211-217.
- Pandey RK, Kumar D, Jadhav KM (2011) Assessment of determinants for reducing HCN content in Sorghum used for ruminant in Gujarat, India. *Livestock Research for Rural Development* **23**, 66.
- Plorutti F (2014) Intoxicación por consumo de Sorgo. Artículo de divulgación. INTA. http://www.produccion-animal.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/intoxicaciones/184-sorgo.pdf
- Pushpa K, Madhu P, Venkatesh Bhat B (2019) Estimation of HCN content in sorghum under irrigated and stressed conditions. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* **8**, 2583-2585.
- R Development Core Team (2015) R: A Language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- Ramteke R, Doneria R, Gendley MK (2019) Antinutritional factors in feed and fodder used for livestock and poultry feeding. *Acta Scientific Nutritional Health* **3**, 39-48.
- Saini A, Tiwana US (2013) Effect of irrigation and nitrogen levels on growth, yield and hydrocyanic acid (HCN) content of forage sorghum (*Sorghum bicolor*) under different cutting managements. *Indian Journal of Ecology* **40**, 51-53.
- Shehab AA, Yao L, Wei L, Wang D, Li Y, Zhang X, Guo Y (2020) The increased hydrocyanic acid in drought-stressed sorghums could be alleviated by plant growth regulators. *Crop & Pasture Science* **71**, 459-468.
- Sriagtula R, Karti PDMH, Abdullah L, Supriyanto, Astuti DA, Zurmiati (2021) Nutrients, fiber fraction, and *in vitro* fiber digestibility of Brown-Midrib sorghum mutant lines affected by the maturity stages. *Tropical Animal Science Journal* **44**, 297-306.
- Tattersall DB, Bak S, Jones PR, Olsen CE, Nielsen JK, Hansen ML, Høj PB, Møller BL (2001) Resistance to an herbivore through engineered cyanogenic glucoside synthesis. *Science* **293**, 1826-1828.
- Torreillas MG, Bertoia LM (2008) Acumulación y calidad de forraje de híbridos de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] con diferentes niveles de fertilización nitrogenada. *Revista Argentina de Producción Animal* **28**, 201-207.
- Tranier Perez E, Mayo A (2017) Sorgos para pastoreo: Criterios a tener en cuenta para la realización de este recurso forrajero. *Desafío* **21**, 20, 26-27.
- US Soil Survey Staff (1975) Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil maps, US. Department of Agriculture, Agriculture Handbook N°436, USA, 754 pp.
- Vallati A, Bolleta A (2007) Morfología y fisiología. En 'Sorgo en el Sur'. (Eds. Zamora MM, Melín AA) pp. 13-16. INTA-Ministerio de Asuntos Agrarios de la Provincia de Buenos Aires, Argentina.
- Vargas Rodríguez C (2005) Valoración nutricional y degradabilidad ruminal de genotipos de Sorgo forrajero (*Sorghum* sp). *Agronomía Mesoamericana* **16**, 215-223.
- Vogel KP, Pedersen JF, Masterson SD, Toy JJ (1999) Evaluation of a filter bag system for NDF, ADF, and IVDMD forage analysis. *Crop Science* **39**, 276-279.
- Wheeler JL, Mulcahy AC, Walcott JJ, Rapp GG (1990) Factors affecting the hydrogen cyanide potential of forage sorghum. *Australian Journal of Agricultural Research* **41**, 1093-1100.
- Wiles PG, Gray IK, Kissling RC (1998) Routine analysis of proteins by Kjeldahl and Dumas methods: Review and interlaboratory study using dairy products. *Journal of AOAC INTERNATIONAL* **81**, 620-632.
- Yahaya MA, Shimelis H (2022) Drought stress in sorghum: Mitigation strategies, breeding methods and technologies—A review. *Journal of Agronomy and Crop Science* **208**, 127-142.
- Zagrobelny M, Bak S, Rasmussen AV, Jørgensen B, Naumann CM, Møller BL (2004) Cyanogenic glucosides and plant-insect interactions. *Phytochemistry* **65**, 293-306.