



Fecha de recibido: 30/01/2022

Fecha de aceptado: 08/07/2022

DOI: 10.22490/21456453.5581



EVALUACIÓN DE TRES ACTIVADORES RUMINALES SÓLIDOS (SAR) ADICIONADOS CON UN PREPARADO MICROBIANO

EVALUATION OF THREE SOLID RUMINAL ACTIVATORS (SAR) ADDED WITH A MICROBIAL PREPARATION

Iván Camilo Henao Barrera¹

Luis Miguel Borrás Sandoval²

Carlos Eduardo Rodríguez Molano³

¹ Médico Veterinario Zootecnista y Mg. de las Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Boyacá, Colombia.

² Zootecnista, Dr. y Mg. Investigador de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. luis.borras@uptc.edu.co Tunja, Boyacá, Colombia.

³ Zootecnista, Dr. y Mg. Investigador de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. carlos.rodriguez@uptc.edu.co Tunja, Boyacá, Colombia.

Citación: Henao, I., Borrás, L. y Rodríguez, C. (2023). Evaluación de tres activadores ruminales sólidos (SAR) adicionados con un preparado microbiano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 14(1), 159 - 176. <https://doi.org/10.22490/21456453.5581>

RESUMEN

Contextualización: los activadores ruminales sólidos [SAR] mejoran los indicadores de fermentación ruminal y especialmente contribuyen con la disminución de gases de efecto invernadero [GEI] de origen entérico. Son utilizados como aditivos alimentarios y han ganado una gran importancia en la alimentación de rumiantes porque buscan mejorar los índices de producción animal; logrando, en gran medida, sustituir a los promotores de crecimiento, como los antibióticos, que pueden afectar la producción pecuaria y tener cierta influencia sobre la microbiota de los consumidores de esta; por ende, pueden afectar potencialmente la salud humana.

Vacío de conocimiento: los activadores son importantes mitigadores de GEI, al mejorar la digestibilidad de alimentos fibrosos muy utilizados en la alimentación de especies rumiantes. Con ello se disminuye el impacto de dichos gases de origen entérico, puesto que se reduce la generación de estos en el ganado.

Propósito: el presente estudio se realizó con el objeto de evaluar tres SAR inoculados en diferentes porcentajes [0, 10 y 15 %] con un preparado microbiano rico en bacterias ácido- lácticas [BAL],

teniendo el propósito de evaluar la calidad composicional y microbiológica de dichos suplementos alimentarios.

Metodología: se llevaron a cabo múltiples muestreos a lo largo del proceso de elaboración del producto y se realizaron análisis químicos y microbiológicos de las muestras.

Resultados y conclusiones: Se encontraron suplementos con valores de proteína cruda [PC] superiores al 22 % con menores tenores de fibra, lo cual refleja una digestibilidad in vitro de la materia seca [DVMS] superior [en todos los casos] al 80 %. Además, se pudo observar que los SAR son inocuos desde el punto de vista microbiológico, lo que los postula con un posible potencial probiótico por sus altas cargas de BAL. En este sentido, los SAR son una alternativa biotecnológica [eficiente y sencilla] que podría utilizarse en la suplementación de los bovinos con el fin de mejorar el aprovechamiento de forrajes y materiales fibrosos, y que puede contribuir con el mejoramiento de las condiciones medioambientales, debido a la disminución de los GEI.

Palabras clave: Fermentación; Microorganismos; Probióticos; Rumiantes.

ABSTRACT

Contextualization: Solid ruminal activators (SRA) that improve fermentation conditions in the rumen microorganisms of the cattle, used as feed additives,

have gained importance in the nurturing of ruminants. They promote animal production rates and replace growth promoters, such as antibiotics, that

can affect animal production and influence on their consumers microbiota; consequently, they can strongly affect human health.

Knowledge gap: The solid ruminal activators are important mitigators of the generation of greenhouse gasses because they improve the digestibility of fibrous and coarse foods, widely used in the feeding of ruminant species, which are important generators of greenhouse gasses.

Purpose: In the present study, three SRA were inoculated, in different percentages (0, 10 and 15%), with a microbial preparation composed of lactic acid bacteria (LAB). They were evaluated to assess the composition and microbiological quality of these food supplements.

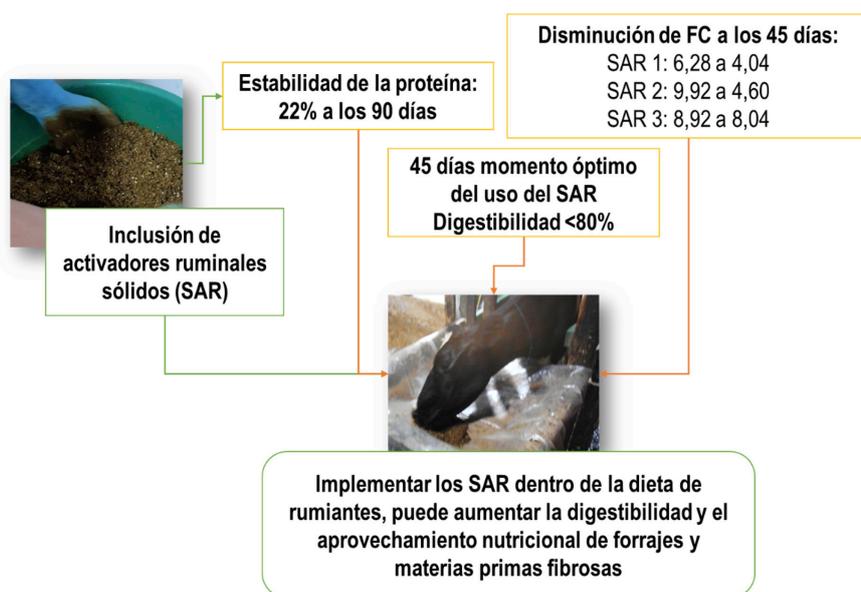
Methodology: Multiple samplings were carried out throughout the manufacturing process and several chemi-

cal and microbiological analyzes of the samples were performed.

Results and conclusions: Supplements with crude protein (CP) values higher than 22%, low crude fiber content (CF) and in vitro dry matter digestibility (DVDM) higher than 80% were found in all cases. In addition, it was observed that SRA are innocuous from a microbiological point, which makes them a possible probiotic due to their high loads of LAB. In this sense, SRA are an efficient, biotechnological, alternative that could be used in cattle feeding to improve the use of forage and fibrous materials; also, they contribute to improve the environmental conditions because they support the decrease of greenhouse gasses.

Keywords: Fermentation; Microorganisms; Probiotics; Ruminants.

RESUMEN GRÁFICO



Fuente: Autores

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la producción animal a escala global está sufriendo cambios estructurales, debido al crecimiento de la población, al incremento de ingresos de sociedades urbanas y rurales y, por ende, a la creciente demanda de productos de origen animal (Ferrer et al., 2015; Rodríguez-Salgado et al., 2021). En general, la producción animal mundial está creciendo con mayor dinamismo que otros subsectores agrícolas (Ferrer et al., 2015).

Pero uno de los problemas que trae este incremento en la producción pecuaria es que el sector ganadero sea un importante generador de gases de efecto invernadero [GEI], pues se estima que representa un 14,5 % de las emisiones generadas por actividades humanas (Gerber et al., 2013). Hoy en día se reconoce a escala mundial la importancia que ha adquirido la ganadería en el fenómeno del cambio climático [CC], debido a los potentes gases que produce el ganado y fomentan el efecto invernadero creciente (Ferrer et al., 2015). Principalmente, la cría de ganado bovino contribuye con las emisiones de dióxido de carbono [CO₂] por los cambios en el uso del suelo, especialmente debido a la implementación de pastizales; con la emisión de metano (CH₄), a causa de la fermentación entérica y manejo del estiércol; y con la emisión de óxido nitroso (N₂O), como resultado de la descomposición del estiércol en las unidades ganaderas (Alayón-Gamboa et al., 2018).

Puntualmente, la producción de carne y leche bovina es la mayor responsable de las emisiones de GEI del sector ganadero, contribuyendo en un 41 % y 29 % respectivamente. Dichos datos son muy preocupantes si se tienen en cuenta las proyecciones de crecimiento de este sector (Gerber et al., 2013) y que el sector agropecuario en Colombia es el segundo sector con mayores emisiones brutas de gases de efecto invernadero en el país [26 %]. Específicamente, las principales causas de emisiones de estos gases contaminantes en el sector agropecuario son la fermentación entérica [31 %] en los ganados, seguida de las emisiones producidas por la renovación de cultivos permanentes (30 %) (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], (2016).

En particular, la razón por la que la fermentación entérica produce tantos gases contaminantes es que la producción bovina utiliza forrajes, residuos de cosecha y otras materias primas, en su mayoría altamente fibrosas y de baja calidad, para la alimentación de los animales. Esto genera bajas digestibilidades y, por tanto, se producen grandes cantidades de metano. En cuanto a las prácticas de mitigación que se pueden aplicar están: la modificación de prácticas en el manejo alimenticio y nutrición, modificación en el ambiente ruminal, mejoramiento reproductivo y genético, entre otras (Ferrer et al., 2015).

En principio, las estrategias de mitigación se encaminan a disminuir la

producción de CH₄, sin modificar la producción animal, y en mejorar la eficiencia de conversión del alimento (Ferrer et al., 2015). Es por esto que surgen los activadores ruminales, los cuales son aditivos zootécnicos capaces de manipular los procesos fermentativos y aumentar la eficiencia digestiva de los animales. Esta eficiencia se ve reflejada en el incremento del consumo voluntario de alimento, y en el aumento de la producción de carne, leche y lana (Díaz et al., 2011; Gutiérrez et al., 2013).

Los activadores ruminales pueden elaborarse de diversas maneras: líquida, sólida, granulada, compacta o como bloques multinutricionales (Galindo et al., 2017). Se caracterizan porque se deben suministrar en pequeñas cantidades y formularlos de manera que se regule su consumo durante 24 horas (Galindo et al., 2017). Es decir, no deben consumirse una única vez al día, pues uno de los principios en los que se sustenta su tecnología es garantizar que en cada momento del día existan los nutrientes necesarios para la síntesis de proteína microbiana (Galindo et al., 2017). Al respecto, Zebeli et al. (2010) han planteado que la práctica más fácil y de mayor impacto en la manipulación ruminal consiste en ofrecer a los animales una ración balanceada de alimento que incluya activadores ruminales, teniendo en cuenta los requerimientos nutri-

cionales de los ganados y conociendo las poblaciones microbianas presentes en el rumen de estos.

El uso de activadores ruminales en la dieta de los animales provee múltiples beneficios, entre ellos que la población de microorganismos ruminales [bacterias celulolíticas y hongos celulolíticos] se ve notablemente incrementada (Galindo et al. 2017). Estos microorganismos estimulan la función digestiva del rumen, por lo que aumentan el consumo y la digestibilidad de pastos y otros alimentos fibrosos de baja calidad, estabilizan el pH del rumen en rangos óptimos [5,5-7] para garantizar la celulolisis ruminal e incrementan la concentración de amoníaco [NH₃] y de ácidos grasos de cadena corta [AGCC] en el rumen (Galindo et al., 2017). Todos estos procesos se reflejan en el incremento y mejora de la producción de leche y el estado reproductivo de los animales; también aumentan la ganancia de peso y mejoran la condición corporal y de salud de los animales (Galindo et al., 2017).

Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo de este estudio fue determinar la calidad composicional y microbiológica de tres activadores ruminales sólidos [SAR] inoculados, en diferentes porcentajes, [0, 10 y 15 %] con un preparado microbiano formado por bacterias ácido-lácticas (BAL).



2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización geográfica del estudio. El estudio se realizó en la ciudad de Tunja [Boyacá, Colombia], en condiciones de trópico alto, con una altitud media de 2860 m. s. n. m. y una temperatura promedio anual de 13° C. Los experimentos se realizaron en el Laboratorio de Nutrición y Alimentación Animal de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia [UPTC] mediante protocolos previamente estandarizados.

Preparado microbiano. La elaboración del preparado microbiano para inocular los SAR se realizó en el laboratorio. Las cepas bacterianas empleadas en este estudio pertenecen a los géneros *Lactobacillus sp.* y *Streptococcus sp.*, estas bacterias generalmente son consideradas sanitariamente seguras y por ello se seleccionaron como cultivos para el preparado microbiano. De igual manera, se utilizó leche porque es el medio típico y satisfactorio para la proliferación de las BAL, ya que es un excelente entorno para el crecimiento y producción de metabolitos bacterianos (Vásquez et al., 2009). Además, se utilizaron azúcares [como glucosa y lactosa] para la multiplicación de las bacterias, y aminoácidos, vitaminas y otros factores de crecimiento.

Inicialmente se preparó el medio de cultivo microbiano a partir de leche entera, la cual se calentó a 45 °C y se inoculó con las BAL para conseguir yogurt; posteriormente, la leche inoculada se llevó a una cava de poliespuma [icopor] que mantuvo estable la temperatura por un tiempo de 6-8 horas de incubación. Una

vez obtenido el yogurt, se procedió a mezclarlo con los componentes descritos en el protocolo de Borrás-Sandoval et al. (2017) a una concentración de 2 %; a continuación, se llevó el yogurt a un volumen final con agua destilada [solvente del sistema] y se incubó por 48 horas a una temperatura ambiente promedio de 15° C; durante ese tiempo se agitó el compuesto 3 veces al día por 20 minutos, empleando una batidora eléctrica, hasta estabilizar el pH a 4.5.

Elaboración de los tratamientos y toma de muestras. Se elaboraron 3 tratamientos diferenciales que estaban compuestos por los SAR y diferentes porcentajes de preparado microbiano. Se realizó la mezcla de las materias primas, como lo muestra la tabla 1, hasta obtener una pasta homogénea. A continuación, la mezcla se distribuyó en bolsas plásticas selladas no herméticamente [cada una de 1 Kg] y cada bolsa representó una unidad experimental, con tres repeticiones cada una, según los tratamientos.

Los tratamientos se denominaron SAR1, SAR2 y SAR3 y contaban con las siguientes especificaciones:

SAR1: componentes indicados en la tabla 1 sin ningún porcentaje [0 %] del preparado microbiano.

SAR2: componentes indicados en la tabla 1 adicionando 10 % del preparado microbiano.

SAR3: componentes indicados en la tabla 1 adicionando 15 % del preparado microbiano.

Tabla 1. Composición de los SAR elaborados.

Materias primas	Inclusión (%)	Aportes de los componentes
Melaza	20	Fuente energética
UREA	3	Fuente nitrogenada (NMP)
Cal	10	Fuente de elementos inorgánicos y minerales y material compactante
Pulidura de maíz	(30,25,20)	Fuente de energía
Harina de alfalfa	(30,25,25)	Fuente de proteína
Sal mineralizada bovinos 10 %	7	Fuente de elementos inorgánicos y minerales
Preparado microbiano	(0, 10 y 15 %)	Fuente BAL (99x106 UFC).

Fuente: autores

El muestreo de todas las unidades experimentales se realizó al primer día, luego, a los 45 días y finalmente, a los 90 días de elaboración. Se realizaron análisis químicos y microbiológicos en todas las muestras para observar la calidad del producto y su inocuidad. Así mismo, las muestras se evaluaron en el tiempo para observar la dinámica de preservación del producto.

Análisis químico. El total de los sólidos remanentes en las bolsas se secaron y molieron en un molino de martillo UDY®, con criba de 1 mm. Para realizar la cuantificación química se aplicaron las siguientes técnicas analíticas: humedad [H], materia seca [MS], proteína bruta [PB], fibra bruta [FB], cenizas [Cz] y extracto etéreo [EE] siguiendo los métodos establecidos por la AOAC (2005). Así mismo, se determinó la fibra insoluble en detergente neutro [FDN] y fibra en detergente ácido [FDA] de acuerdo con Van Soest et al. (1991); finalmente, se calculó el nitrógeno orgánico [NO] usando Kjeldahl/volumétrico, y el extracto no nitrogenado [ENN], según Bernal (1994). El contenido de

los minerales Calcio [Ca] y Fósforo [P] se evaluó por colorimetría NTC 234, y la digestibilidad in vitro de la materia seca, de acuerdo con el Laboratorio de la Universidad Nacional de Colombia, por la técnica de Tilley & Terry (1963).

Análisis microbiológico. Se realizó un análisis de control microbiológico de todos los productos en los diferentes tiempos de elaboración [1, 45 y 90 días] en un laboratorio certificado de Control Microbiológico ubicado en Boyacá, Colombia. En este análisis se realizó el conteo del contenido de: aerobios mesófilos [UFC/ml] [AOAC 966.23.C: 2001], coliformes totales [NMP] [ICMSF NMP: 2000], coliformes totales y fecales [NMP] [ICMSF NMP: 2000], esporas de *Clostridium* sulfito reductor [UFC/ml] [ISO 15213:2003], hongos y levaduras [UFC/ml] [ISO 7954:1987], *Salmonella* [AS 5013.10:2009] y BAL [NTC 5034: 2002].

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos de los análisis químicos y microbiológicos fueron registrados y tabulados. Una vez realizadas los análisis de normalidad [prueba

de Shapiro–Wilk y prueba de Levene] se empleó un ANOVA para cada uno de los indicadores y, adicionalmente, para la correlación del tiempo y los tratamientos se empleó el examen de la co-

varianza [ANCOVA] utilizando la función aov del paquete de R stats v3.6.2. En ambos casos se realizó una prueba de Tukey con un nivel de significancia del 95 %.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para cada indicador se registra el valor [porcentual] obtenido para cada tratamiento en los diferentes días de muestreo. En la tabla 2 se observa el comportamiento de la proteína cruda [PC] y las fracciones de nitrógeno, expresadas en el nitrógeno orgánico [NO] y el extracto no nitrogenado [ENN].

En general, se observa una gran estabilidad de la PC en el tiempo [llegando al 22 %] a los 90 días de elaboración del producto; sin embargo, este indicador fue inferior en este estudio. Este es un primer indicador de la posible eficacia de la inclusión de los SAR en la alimentación de rumiantes, pues Elías (1983) plantea la alteración en la celulolisis ruminal cuando la proteína de la dieta es muy baja (<12 %). Por esta razón, los SAR se proyectan para suministrarse en dietas altamente fibrosas, de muy

baja calidad nutricional, de manera que se incremente la digestibilidad de dichos forrajes toscos y, además, se eviten alteraciones ruminales

En cuanto a los indicadores de la fracción nitrogenada, se obtuvo que todos los porcentajes se mantuvieron en un rango muy similar entre tratamientos y a lo largo del tiempo. Así mismo, estos valores se encuentran en el mismo rango que los recopilados por Molina y Urquijo (2021), que indican el adecuado estado del alimento, y los niveles necesarios para el mantenimiento y la síntesis del organismo. No obstante, es importante resaltar que no se tiene reporte de las concentraciones mínimas y máximas recomendadas para estos indicadores, a pesar de que constituyen una fracción valiosa del alimento (Molina y Urquijo, 2021).

Tabla 2. Comportamiento de la proteína y la fracción nitrogenada.

Indicador (%)	Tratamiento	Día 1	Día 45	Día 90
PC	SAR1	19,0a	22,8 ^a	22,0a
	SAR2	24,4b	20,7 ^a	22,0a
	SAR3	26,4b	22,6 ^a	22,0a
NO	SAR1	3,04a	3,65 ^a	3,52a
	SAR2	3,91a	3,31 ^a	3,52a
	SAR3	4,23a	3,61 ^a	3,52a

ENN	SAR1	47,9a	46,8 ^a	45,4a
	SAR2	37,4b	47,1 ^a	39,0b
	SAR3	35,8b	41,0b	39,0b

*Letras diferentes indican diferencias entre tratamientos. **Fuente:** autores

La fibra es un componente importante en la dieta animal [especialmente para rumiantes], pues altera sensiblemente la digestibilidad del alimento. Puntualmente, la fibra regula y mantiene la salud del rumen; sin embargo, altas fracciones de esta, como en el caso de alimentos altamente fibrosos y toscos, disminuyen el consumo y la digestibilidad en el rumiante. Así mismo, la fibra tiene importancia en la alimentación del ganado, ya que se contempla como la principal generadora de la grasa en la leche (Cruz-Calvo y Sánchez, 2000). En la tabla 3, se registran bajos porcentajes de contenido de fibra para todos los tratamientos, pero es importante resaltar que el SAR es un suplemento y por ello debe proporcionar una alta digestibilidad.

Específicamente, la FDA se relaciona inversamente con la digestibilidad en la dieta diaria del ganado bovino, ya que entre más alto es el porcentaje de FDA, menor es la digestión que tiene el ali-

mento y la asimilación de los nutrientes (Hernández, 2010). En este estudio, los valores obtenidos para dicha variable se encuentran dentro del límite teórico adecuado [$<30\%$] en todos los tratamientos, de manera que el suplemento proporcionará un buen aporte nutricional al animal (Molina y Urquijo, 2021).

Por otro lado, la FDN está relacionada con el tiempo de alimentación del animal y el tiempo que permanece lleno; esta debe encontrarse dentro de los límites de concentración requerida para llevar a cabo el llenado correcto del rumen y tener una mayor absorción de los nutrientes (Hernández, 2010). Los resultados obtenidos en esta investigación no se encontraron dentro del rango de concentración recomendada para consumo diario de FDN [$38.0\% - 65.0\%$], puesto a que se obtuvieron valores por debajo de los requerimientos [$13,5\%$ a $24,8\%$] en los diferentes tratamientos (Consejo Nacional Agropecuario, 2013).

Tabla 3. Se observa el comportamiento de la fibra del suplemento.

Indicador (%)	Tratamiento	Día 1	Día 45	Día 90
MS	SAR1	89,7a	89,9 ^a	88,7 ^a
	SAR2	82,7b	82,6b	82,6b
	SAR3	79,5b	79,4b	82,6b
FC	SAR1	6,28a	4,04 ^a	6,62 ^a
	SAR2	9,92b	4,60 ^a	10,02b
	SAR3	8,92b	8,04b	10,2b



FDA	SAR1	8,19a	5,52 ^a	7,02 ^a
	SAR2	10,5b	6,50 ^a	11,0b
	SAR3	12,5b	8,50b	11,0b
FDN	SAR1	17,0a	13,5 ^a	17,7 ^a
	SAR2	24,8b	17,6b	24,6b
	SAR3	23,9b	27,5c	24,6b

*Letras diferentes indican diferencias entre tratamientos. **Fuente:** autores

Al observar el comportamiento de la proteína, la fracción de fibra y la digestibilidad del suplemento es posible afirmar que el momento óptimo de uso del SAR se da a los 45 días de elaboración, cuando se presenta la mejor digestibilidad; este comportamiento se observa nuevamente en la tabla 4, en la que se evidencia una digestibilidad alta del suplemento [$>80\%$]. Dicho porcentaje de digestibilidad fue constante en

los tres tratamientos; sin embargo, los valores de SAR 1 fueron superiores en comparación a los demás tratamientos. Dado que la MS también influye en la digestibilidad, es necesario mencionar que el porcentaje de MS fue, en la gran mayoría de los casos, [exceptuando SAR 2 y SAR 3 en el día 1] superior a la cantidad mínima requerida [>87] para una muestra adecuada (Molina y Urquijo, 2021).

Tabla 4. Comportamiento de la digestibilidad in vitro de la materia seca (DVMS).

Tiempo	Tratamiento	MS (%)	DVMS (%) Rumiantes
Día 1	SAR1	90,6	88,2
	SAR2	83,9	85,5
	SAR3	79,8	84,9
Día 45	SAR1	96,1	85,5
	SAR2	95,7	83,3
	SAR3	97,0	83,6
Día 90	SAR1	95,1	83,7
	SAR2	96,2	81,4
	SAR3	96,4	84,1

*Letras diferentes indican diferencias entre tratamientos. **Fuente:** autores

En la Tabla 5, se observa la composición mineral y el contenido graso del suplemento. En primer lugar, se obtuvo un porcentaje importante de Cz que indica el contenido mineral de los diferentes

SAR. Según Molina y Urquijo (2021), dicho contenido es superior a la concentración recomendada, es decir, menor al 10%. En este sentido, es importante resaltar que la fracción mineral se puede

ver comprometida por la adición de sales minerales durante la elaboración del suplemento; igualmente, los minerales que se reportan también pueden ser derivados de la adición de cal. Respecto a esto, Han et al. (2013) comprobaron que la adición de CaCO₃ en fermentaciones con bacterias incrementa su crecimiento, al igual que los niveles de proteínas transportadoras de azúcar y las proteínas involucradas en la síntesis, reparación, recombinación y replicación del DNA. En segundo lugar, con respecto a EE se obtuvo que el contenido en todos los tratamientos presentó valores menores a [$<6\%$] en el proceso de elaboración de los SARS, de manera que el suplemento no provocará consecuencias negativas en la salud del animal y en su digestibilidad (Molina y Urquijo, 2021). Finalmente, los macrominerales (Ca y P) deben administrarse correctamente en el producto con el fin de evitar deficiencias o excesos que perjudiquen el funcionamiento interno del organismo. La

gran mayoría de porcentajes de P obtenidos para las muestras de este estudio se encuentran dentro de los límites de concentración requeridos [$0.30 - 0.60\%$] (Molina y Urquijo, 2021) para rumiantes, aunque tres registros exceden por poco los valores adecuados. En contraste, se presentó un exceso de Ca [$>0.4 - 0.75$] (Molina y Urquijo, 2021) para todos los tratamientos, un aspecto que debe tenerse en cuenta en posteriores procesos de elaboración del suplemento.

Por otra parte, Sudana & Leng (1986) demostraron que los suplementos deben proporcionar de forma continua los niveles adecuados de nitrógeno amoniacal para ser eficaces en el crecimiento constante de los microorganismos. Al incluir altas concentraciones de sal-urea y melaza-urea se suprime el consumo rápido de estos suplementos; por esta razón se utilizaron altos porcentajes de inclusión de melaza y sales mineralizadas en este estudio.

Tabla 5. Composición mineral y de grasa del suplemento.

Indicador (%)	Tratamiento	Día 1	Día 45	Día 90
EE	SAR1	4,0a	3,78a	4,25a
	SAR2	4,20 ^a	3,63a	3,96a
	SAR3	4,52 ^a	4,12a	3,96a
Cz	SAR1	22,8 ^a	22,6a	21,7a
	SAR2	24,1 ^a	24,0a	24,8b
	SAR3	24,4 ^a	24,2a	24,8b
P	SAR1	0,683 ^a	0,675a	0,633a
	SAR2	0,680 ^a	0,722b	0,645a
	SAR3	0,724 ^a	0,720b	0,645a
Ca	SAR1	6,75 ^a	6,90a	5,62a
	SAR2	6,66 ^a	7,08a	6,25a
	SAR3	7,34 ^a	6,88a	6,25a

*Letras diferentes indican diferencias entre tratamientos. **Fuente:** autores



En la Tabla 6 se observa el comportamiento microbiológico de los tratamientos. Todas las variables o indicadores analizados forman parte del sistema de control de calidad para preparados microbianos con inoculación biológica. Es importante garantizar productos con un contenido real de compuestos orgánicos y de microorganismos ácido-lácticos activados para trabajar en fermentaciones, pues, como indican Cubero et al. (2010), múltiples investigaciones reportan preparados microbianos con inóculos producidos de forma artesanal; infortunadamente, en estos casos se desconocen las poblaciones de microorganismos benéficos por falta de control de calidad en su elaboración, de tal forma que su impacto tanto en el proceso como en el producto final es incierto.

En las muestras se obtuvieron conteos de bacterias aerobias mesófilas. Estas bacterias, en un proceso de fermentación, expresan la carga total de microorganismos en presencia de oxígeno y a temperaturas que oscilan entre 15 y 45°C; su importancia radica en que expresan la actividad microbiana total en un proceso de tipo biológico (Nkosi et al., 2011; Díaz et al., 2014). En este caso, los resultados

muestran la presencia de bacterias, levaduras y hongos en número permisible con un efecto benéfico para el posterior proceso de fermentación.

En cuanto a la inclusión de probióticos en los suplementos, Flores-Manchero et al. (2015) y Fonseca-López y Rodríguez-Molano (2019) manifiestan que, si bien los *Lactobacillus* y las levaduras pueden tener un potencial probiótico, es imprescindible evaluar cada producto que se emplee con dicho fin y su potencial dependerá de la especie evaluada. La presencia de bacterias ácido-lácticas en el suplemento de este estudio indica su potencial probiótico y que parte de su proteína tendrá un buen aporte de proteína de origen microbiano o proteína verdadera. Así mismo, la adición de preparados microbianos ricos en BAL tiene incidencia directa en la estabilidad del pH, lo cual se asocia a un buen crecimiento microbiano y, por ende, se favorece la producción de proteína de origen microbiano (Elías et al., 1990; Ramos et al., 2006; Becerra-Bernal et al., 2008). Finalmente, también se debe resaltar la ausencia de coliformes [*Clostridium* y *Salmonella*] en las muestras, lo cual permite inferir la inocuidad del suplemento.

Tabla 6. Análisis microbiológico de los SAR. El símbolo * indica ausencia.

Indicador (%)	Tratamiento	Día 1	Día 45	Día 90
Aerobios Mesófilos (UFC/g)	SAR1	4,5x10 ⁴	3,4x10 ³	3,0x10 ²
	SAR2	8 x10 ⁴	1,0x10 ³	1,0x10 ²
	SAR3	8 x10 ⁴	1,0x10 ³	20
Coliformes Fecales (NMP)	SAR1	<3	<3	<3
	SAR2	<3	<3	<3
	SAR3	<3	<3	<3

Coliformes totales (NMP)	SAR1	<3	<3	<3
	SAR2	<3	<3	<3
	SAR3	<3	<3	<3
Esporas <i>Clostridium</i> Sulfito reductor (UFC/g)	SAR1	<10	<10	<10
	SAR2	<10	<10	<10
	SAR3	<10	<10	<10
Bacterias Ácido-lácticas (UFC/g)	SAR1	8 x10 ⁴	3x10 ⁴	2,0x10 ²
	SAR2	1,6x10 ⁶	2,8x10 ⁶	30
	SAR3	1,6x10 ⁶	1,0x10 ³	70
Levaduras (UFC/g)	SAR1	4,3x10 ⁵	<10	10
	SAR2	8x10 ²	20	<10
	SAR3	<10	<10	<10
Hongos (UFC/g)	SAR1	<10	<10	2,6x10 ²
	SAR2	8x10 ²	<10	<10
	SAR3	8x10 ²	<10	<10
<i>Salmonella</i> (A-P/25g)	SAR1	*	*	*
	SAR2	*	*	*
	SAR3	*	*	*

Fuente: autores

Con respecto al análisis estadístico, se evidenció que para 9 de los 17 indicadores evaluados se obtuvo un valor p significativo [<0.05]. Puntualmente, en el caso de los indicadores MS, FDN y Cz se presentaron diferencias entre los tratamientos; para el indicador FC también se evidenció un efecto significativo con el paso del tiempo en la variación obtenida. Así mismo, en las mediciones registradas para MS [%], DVMS [%], rumiantes, P, Ca y aerobios mesófilos (UFC/g) la diferenciación fue significativa únicamente para la variable "día". En este sentido, los resultados obtenidos demuestran que, si bien la totalidad de indicadores no presentaron

una variación significativa con relación al tratamiento, sí se tiene una primera evidencia de diferencias entre los SAR al añadir el preparado microbiano y, también, de acuerdo con el momento en que se haga la adición.

Al realizar la prueba Tukey para los indicadores MS, FC, FDN y Cz [los cuales presentaron diferencias significativas entre tratamientos], se obtuvo que el tratamiento SAR1 es significativamente diferente a SAR2 y SAR3 [Anexo 1 y 2] para los indicadores MS [p-valor = 0.006 y 0.002, respectivamente] y Cz [p-valor = 0.02 en ambos casos]. En contraste, este mismo tratamiento se diferenció



exclusivamente de SAR3 [Anexo 3 y 4] en los indicadores restantes [FC y FDN] con un p-valor = 0.05 y 0.04, respectivamente. Por consiguiente, con este análisis se observa que el tratamiento SAR

1 mostró diferencias significativas en comparación a los tratamientos SAR 2 y SAR 3 en las variables evaluadas; sin embargo, no fue el tratamiento que presentó mejor rendimiento.

Tabla 7. p-valor resultado del ANCOVA para todos los indicadores evaluados. Los niveles de significancia se representan así: 0 ***, 0.001 **, 0.01 *, 0.05, 0.1, 1.

Indicador	p-valor (ANCOVA)	
	Tratamiento	Día
PC	0,532	0,778
NO	0,532	0,778
ENN	0,0632	0,2368
MS	0,00229 **	0,77570
FC	0,0557.	0,0518.
FDA	0,0941	0,1800
FDN	0,048 *	0,543
MS (%)	0,6217	0,0252 *
DVMS (%) Rumiantes	0,1056	0,0487 *
EE	0,408	0,215
Cz	0,0163 *	0,9133
P	0,1656	0,0174 *
Ca	0,3216	0,0274 *
Aerobios Mesófilos (UFC/g)	0,5132	0,0037 **
Lactobacilos Mesófilos (UFC/g)	0,280	0,393
Levaduras (UFC/g)	0,361	0,250
Hongos (UFC/g)	0,737	0,202

*Letras diferentes indican diferencias entre tratamientos. **Fuente:** autores

Por último, tanto el obtener como el no obtener diferencias significativas entre tratamientos está determinado, en fuerte medida, por la cantidad de réplicas realizadas en la experimentación. Puntualmente, en este caso se obtuvo

que, de acuerdo con un poder estadístico convencional alto (0,4), el número de réplicas requeridas (n) para obtener una mayor robustez en el análisis hubiese sido de aproximadamente 21.



4. CONCLUSIONES

En este estudio se evidenció que implementar los SAR puede aumentar la digestibilidad y el aprovechamiento nutricional de forrajes y materias fibrosas ofrecidos como alimento a los rumiantes, representando una alternativa sencilla y económica que mejora la digestibilidad de estos materiales de bajo tenor proteico, en comparación con aquellas dietas en los que no son incluidos. Es importante realizar trabajos *in situ* con el objeto de validar estos resultados obtenidos *in vitro*.

Sin embargo, de acuerdo con los indicadores evaluados y los resultados obtenidos se concluye que el mejor tratamiento corresponde al SAR2, luego de 45 días de elaboración, dado que sus características microbiológicas y nutricionales hacen que tenga un alto potencial probiótico para el animal. Finalmente, se sugiere realizar estudios posteriores que incrementen el número de réplicas por tratamiento y que permita soportar en mayor medida los fenómenos aquí encontrados.

CONTRIBUCIÓN DE LA AUTORÍA

Primer autor: metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura del documento. **Segundo autor:** metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización,

escritura del documento. **Tercer autor:** metodología, investigación, análisis de datos, conceptualización, escritura del documento.

AGRADECIMIENTOS

Los Autores agradecen la colaboración al Grupo de Investigación en Bioquímica y Nutrición Animal [GIBNA], a la

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y a La Dirección de Investigaciones [DIN].



LITERATURA CITADA

- Alayón-Gamboa, J. A., Jiménez-Ferrer, G., Piñeiro-Vázquez, Á. T., Canul-Solís, J., Albores-Moreno, S., Villanueva-López, G. y Ku-Vera, J.C. (2018). Estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en la ganadería. *Agroproductividad*, 11(2), 9-16. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/112>
- Becerra-Bernal, A., Rodríguez-Muela, C., Jiménez-Castro, J., Ruiz-Barrera, Ó., Iglesias, E. & Ramírez-Godínez, J. A. (2008). Urea y maíz en la fermentación aeróbica de bagazo de manzana para la producción de proteína microbial. *Tecnociencia Chihuahua*, 2(1), 7-14. <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v2i1.63>
- Bernal, I. (1994). Análisis de alimentos. *Academia Colombiana de Ciencia Exactas, Físicas y Naturales*, Bogotá, 1(13), 47-54.
- Borrás-Sandoval, L. M., Valiño-Cabrera, E.C. y Rodríguez-Molano, C.E. (2017). Preparado microbiano con actividad ácido láctica como acelerante biológico en los procesos de fermentación para alimento animal. *Ciencia y Agricultura*, 14(1), 7-13. <https://doi.org/10.19053/01228420.v14.n1.2017.6083>
- Consejo Nacional Agropecuario. (2013). Principales Factores que determinan la calidad nutricional de los forrajes. *México: Premio Nacional Agroalimentario*.
- Cruz-Calvo, M. M. y Sánchez, J. S. (2000). La fibra en la alimentación del ganado lechero. *Nutrición animal tropical*, 6(1), 39-74. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/nutrianimal/article/view/10317>
- Cubero, J. F., Rojas, A., & WingChing, R. (2010). Uso del inóculo microbial elaborado en finca en ensilaje de maíz (*Zea mays*). Valor nutricional y fermentativo. *Agronomía Costarricense*, 34(2), 237-250.
- Díaz, A., Castillo, E., Martín, P. C. y Hernández, J. L. (2011). Preceba de machos bovinos mestizos lecheros en pastoreo con leguminosas herbáceas, banco de biomasa y suplemento activador del rumen. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(1), 25-28. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193015481004>
- Díaz, B. L., Elías, A. y Valiño, E. (2014). Consorcios microbianos con actividad ácido-láctica promisorios aislados desde inoculantes bacterianos nativos para ensilajes. *Revista ciencia y Agricultura*, 11(1), 17-25. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=560058658003>
- Elías, A. (1983). Digestión de pastos y forrajes tropicales. *Los pastos en cuba: Tomo 2*. EDICA.
- Elías, A., Lezcano, P., Cordero, J. y Quintana, L. (1990). Reseña descriptiva sobre el desarrollo de una tecnología de enriquecimiento proteínico en la caña de azúcar mediante fermentación sólida (*Saccharina*). *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 24(1), 3-12. <https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-cubana-de-ciencia-agricola/articulo/resena-descriptiva-sobre-el-desarrollo-de-una-tecnologia-de-enrique>

[cimiento-proteico-en-la-cana-de-azucar-mediante-fermentacion-en-estado-solido-saccharina](#)

- Ferrer, G. J., Pinto, L. S., Luna, E. P., Vera, J. C. K., Burgos, A. A., López, G. V. y Gamboa, A. A. (2015). Ganadería y cambio climático: avances y retos de la mitigación y la adaptación en la frontera sur de México. *Sociedades rurales, Producción y Medio ambiente*, 15, (30), 51-70. <https://sociedadesruralesojs.xoc.uam.mx/index.php/srpma/articulo/view/289/287>
- Flores-Mancheno, L. G., García-Hernández, Y., Proaño-Ortiz, F. B. y Caicedo-Quinche, W. O. (2015). Evaluación de tres dosis de un preparado microbiano, obtenido en Ecuador, en la respuesta productiva y sanitaria de cerdos en posdestete. *Ciencia y Agricultura*, 12(2), 59-70. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=560058661004>
- Fonseca-López, D. y Rodríguez-Molano, C. E. (2019). Efecto de un inoculante microbiano sobre la calidad microbiana y nutricional de ensilaje de *Morus alba L.* y *Sambucus nigra L.* *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 11(2), 93. <https://doi.org/10.22335/rlct.v11i2.825>
- Galindo, J., Elías, A., Muñoz, E., Marrero, Y., González, N. & Sosa, A. (2017). Activadores ruminales, aspectos generales y sus ventajas en la alimentación de animales rumiantes. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 51(1), 11-23. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193057227002.pdf>
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falucci, A. y Tempio, G. (2013). Enfren-
 tando el cambio climático a través de la ganadería: Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura. fao.org/3/i3437s/i3437s.pdf
- Gutiérrez, L. A., Montoya, O. I. y Vélez Zea, J. M. (2013). Probiotics: an alternative for cleaner production and a possible replacement of the antibiotics as growth promoters in animal feeding. *Producción+ limpia*, 8(1), 135-146. <http://hdl.handle.net/10567/1012>
- Han, B., Ujor, V., Lai, L. B., Gopalan, V. & Ezeji, T. C. (2013). Use of proteomic analysis to elucidate the role of calcium in acetone-butanol-ethanol fermentation by *Clostridium beijerinckii* NCIMB 8052. *Applied and environmental microbiology*, 79(1), 282-293. <https://doi.org/10.1128/AEM.02969-12>
- Hernández, S. (2010). Importancia de la fibra en la alimentación de los bovinos [Tesis de pregrado, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. Archivo digital. <http://mateandoconlaciencia.zonalibre.org/IMPORTANCIADELAFIBRAENLAALIMENTACIONDELOSBOVINOS.pdf>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, [IDEAM]. (2016). Inventario nacional y departamental de Gases Efecto Invernadero –Colombia. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023634/INGEL.pdf>
- Molina, S. P. y Urquijo, K. D. (2021). Uso de residuos agroindustriales en alimentación de rumiantes y métodos para mejorar su eficiencia de uso. [Te-



- sis de pregrado, Universidad Santo Tomás]. Craiusta. <http://hdl.handle.net/11634/33439>
- Nkosi, B. A., Langa, T. A., Thomas, R. A. & Meeske, R. (2011). Effects of bacterial silage inoculants on whole-crop maize silage fermentation and silage digestibility in rams. *South African Journal of Animal Science*, 41(4), 350-359. <https://hdl.handle.net/10520/EJC94827>
- Ramos, J. A., Elías, A. y Herrera, F. (2006). Procesos para la producción de un alimento energético-proteico para animales. Efecto de cuatro fuentes energéticas en la fermentación en estado sólido (FES) de la caña de azúcar. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 40(1), 51-58. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193017708008>
- Rodríguez-Salgado, A. M., Borrás-Sandoval, L. M. y Rodríguez-Molano, C. E. (2021). Evaluación de parámetros zootécnicos en terneros suplementados con un alimento fermentado en estado sólido. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(1), 153-166. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n1.2021.1617>
- Sudana, I. B. & Leng, R. A. (1986). Effects of supplementing a wheat straw diet with urea or a urea-molasses block and/or cottonseed meal on intake and liveweight change of lambs. *Animal Feed Science and Technology*, 16(1-2), 25-35. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(86\)90047-7](https://doi.org/10.1016/0377-8401(86)90047-7)
- Tilley, JMA y RA Terry. (1963). Una técnica de dos etapas para la digestión in vitro de cultivos forrajeros. *Sociedad británica de pastizales* 18, 104-111.
- Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy science*, 74(10), 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Vásquez, S. M., Suárez, H. y Zapata, S. (2009). Utilización de sustancias antimicrobianas producidas por bacterias ácido lácticas en la conservación de la carne. *Revista chilena de nutrición*, 36(1), 64-71. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46911435007>
- Zebeli, Q., Mansmann, D., Steingass, H. & Ametaj, B. N. (2010). Balancing diets for physically effective fibre and ruminally degradable starch: A key to lower the risk of sub-acute rumen acidosis and improve productivity of dairy cattle. *Livestock Science*, 127(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.09.003>

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.



Licencia de Creative Commons

Revista de Investigación Agraria y Ambiental is licensed under a Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual 4.0 Internacional License.