

## Evaluación de aditivos y etapa fenológica sobre el valor nutricional de ensilado de *Tithonia tubiformis*

### Evaluation of additives and phenological stage on the nutritional value of *Tithonia tubiformis* silage

Cloe Dafne Álvarez-García<sup>1</sup> ,  
Jair Jesús Sánchez-Valdés<sup>1</sup> ,  
Dixan Pozo-Leyva<sup>2</sup> ,  
Carlos Manuel Arriaga-Jordán<sup>1</sup> ,  
Felipe López-González<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México, Campus El Cerrillo. El cerrillo Piedras Blancas, CP. 50090. Toluca, Estado de México, México.

<sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México Campus I. T. de la Zona Maya. Carretera Chetumal-Escárcega km 21.5, Ejido Juan Sarabia, CP. 77960. Othón P. Blanco, Quintana Roo, México.

\*Autor de correspondencia: flopezg@uaemex.mx

#### Nota científica

Recibida: 09 de junio 2022

Aceptada: 05 de junio 2023

Como citar: Álvarez-García CD, Sánchez-Valdés JJ, Pozo-Leyva D, Arriaga-Jordán CM, López-González F (2023) Evaluación de aditivos y etapa fenológica sobre el valor nutricional de ensilado de *Tithonia tubiformis*. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 10(2): e3383. DOI: 10.19136/era.a10n2.3383

**RESUMEN.** El objetivo fue evaluar ensilado de *Tithonia tubiformis* con diferentes aditivos para determinar composición química, parámetros de fermentación ruminal y de producción de gas *in vitro*. Se evaluaron dos etapas fenológicas (floración y reproductiva) y tres tratamientos de aditivos; control (CTR), melaza (MLZ) y bacterias ácido lácticas (BAL), mediante un diseño experimental factorial 3x2. Las variables evaluadas fueron materia seca (MS), materia orgánica (MO), proteína cruda (PC), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), energía metabolizable estimada (eEM), digestibilidad *in vitro* de la MS (DIVMS), MO (DIVMO) y de la FDN (DIVFDN) y producción de gas *in vitro*. Se presentaron diferencias ( $P < 0.05$ ) en las variables de composición química, digestibilidad *in vitro*, eEM y parámetros de cinética de fermentación entre tratamientos a excepción de FDA, DIVFDN, C1, B, C2 y lag, para etapas fenológicas se presentaron diferencias ( $P < 0.05$ ) en todas las variables a excepción de FDN, FDA, A y C1.

**Palabras clave:** Alimentación animal, maleza, *Tithonia tubiformis*.

**ABSTRACT.** The objective was to evaluate *Tithonia tubiformis* silage with different additives to determine its chemical composition, ruminal fermentation parameters and *in vitro* gas production, two phenological stages (flowering and reproductive) and three additive treatments for the silages were evaluated; control (CTR), molasses (MLZ) and lactic acid bacteria (BAL), through an analysis of variance with a 3x2 factorial experimental design. The variables evaluated were dry matter (DM), organic matter (OM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), estimated metabolizable energy (eEM), *in vitro* digestibility of DM (IVDDM), MO (IVDOM) and NDF (IVDNDF), as well as *in vitro* gas production. Differences ( $P < 0.05$ ) were found in the chemical composition, *in vitro* digestibility, eEM and parameters of fermentation kinetics variables between treatments, except for ADF, IVNDF, C1, B, C2 and lag, regarding phenological stages there were differences ( $P < 0.05$ ) in all variables except for NDF, ADF, A and C1.

**Key words:** Animal feed, weed, *Tithonia tubiformis*.

## INTRODUCCIÓN

Las malezas son consideradas plantas sin valor económico e interfieren en la actividad de los cultivos, afectando la producción y desarrollo debido a la competencia sobre los recursos como agua, luz, nutrientes y espacio, lo que representa un problema para la agricultura (Blanco y Leyva 2007). Su capacidad invasora se debe a la elevada tasa de reproducción e inhibición del crecimiento de otras plantas a través de metabolitos (Gómez *et al.* 2020). No obstante, las arvenses tienen un papel importante, por su crecimiento posterior a un barbecho, lo que previene la erosión del suelo (Blanco y Leyva 2007), sumado al interés creciente por buscar recursos alimenticios que disminuyan el uso de alimentos balanceados (González-Castillo *et al.* 2014) dado su elevado costo y aumento en la necesidad de desarrollar estrategias de alimentación que utilicen los recursos presentes en la región (Betancourt *et al.* 2017), por esta razón, cobra importancia el usar plantas que son consideradas maleza (Pérez-Martínez *et al.* 2018). Al respecto, Gutiérrez *et al.* (2010) mencionan que algunas plantas tienen potencial como fuente de nutrientes para animales de producción, como la *Tithonia tubiformis* que tiene una buena calidad, que satisface la mayoría de los valores nutricionales recomendados para el ganado. Dentro del género *Tithonia* se encuentran 11 especies divididas en dos grupos que incluyen plantas anuales y perenes, siendo *Tithonia tubiformis* una planta herbácea anual (Pérez-Martínez *et al.* 2018), que crece en terrenos de textura intermedia a fina, llegando a superar la altura del maíz (Ruiz *et al.* 2001), con hasta los 4 m, tiene hojas alternas, y tallos erectos ramificados. Sus flores son capítulos grandes acampanados de color amarillo, cipselas gruesas, vilano formado por dos aristas anchas y varias escamas cortas (Larenas *et al.* 2004). Es originaria de México y América Central (Gómez *et al.* 2020), con época de floración de agosto a noviembre (Pérez-Martínez *et al.* 2018).

Por otra parte, existen diferentes métodos de conservación de forrajes, como el ensilaje (Betancourt *et al.* 2017), el cual puede disminuir los efec-

tos antinutricionales de algunos forrajes sin afectar su valor nutricional.

Existen diversos factores a considerar previo a ensilar, como lo son la materia seca, las características fisiológicas de las bacterias epífitas y el contenido de carbohidratos solubles los cuales permiten una buena fermentación del ensilado (Gül 2023), A pesar de lo anterior ya que durante este proceso ocurren cambios químicos abruptos en el material vegetal durante el proceso de ensilado, que pueden estabilizarse después de algunas semanas de fermentación (Cueva *et al.* 2023). Dado que la calidad del ensilado está determinada por el resultado de la competencia entre las bacterias ácido lácticas y los microorganismos que deterioran el ensilado, así como la competencia y colaboración entre las bacterias ácido lácticas (Li *et al.* 2022). Por ello, algunos forrajes requieren del uso de aditivos para lograr una adecuada preservación. Dentro de estos se encuentra la melaza, la cual es el aditivo comúnmente usado para el ensilado, debido a que es una fuente de energía para los microorganismos que producen ácido láctico (Limón-Hernández *et al.* 2019). También se encuentran los aditivos estimulantes de la fermentación, entre ellos los inoculantes microbianos a base de bacterias lácticas (Martínez-Fernández *et al.* 2013). La elección adecuada de aditivos para ensilar puede prevenir la mala fermentación, ya que corrigen la escasez de azúcares solubles o el exceso de la capacidad tampón y previenen el deterioro aeróbico (Martínez-Fernández *et al.* 2013).

No hay muchos reportes del uso de *T. tubiformis* en la alimentación animal, no obstante, Pérez-Martínez *et al.* (2018) no encontraron diferencias significativas al incluir la planta en la alimentación de conejos de engorda, lo cual indica que puede ser una alternativa de alimentación para los animales, sin embargo no se ha realizado la evaluación como ensilado y su posible potencial para la alimentación del ganado o pequeñas especies, por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue evaluar el ensilado de *Tithonia tubiformis* con diferentes aditivos para determinar su composición química, parámetros de fermentación ruminal y producción de gas *in vitro* para su posible inclusión en la alimentación de animales de producción.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se realizó en el campus “El Cerrillo” de la Universidad Autónoma del Estado de México, en el municipio de Toluca, ubicado en la zona central del Estado de México, a una altitud de 2632 msnm, a 19° 24' 48" LN y 99° 40' 45" LO (Morales-Almaráz et al. 2021). El experimento tuvo una duración de 56 días, del 1 de septiembre al 28 de octubre de 2021.

### Recolección de material vegetal

Plantas completas de *T. tubiformis* fueron recolectadas en dos etapas fenológicas diferentes (floración y reproductiva), la recolección de las plantas se llevó a cabo de plantas que crecen de manera silvestre, como maleza dentro de los cultivos de maíz, la primera recolección se realizó en el mes de septiembre y la segunda en octubre. Como la recolección de las plantas se realizó en plantas que crecen asociadas con el maíz, no se tiene un estimado de la edad de la planta al momento del ensilado.

### Elaboración de ensilados de laboratorio

Se evaluaron tres aditivos para ensilar; melaza al 4%, inoculante a base de bacterias ácido-lácticas (BAC) *Lactobacillus plantarum* y *Pediococcus pentosaceus* a dosis recomendada por el fabricante (Biosile) (100 mil UFC/g ensilaje) y control sin aditivo (CTR), así como dos etapas fenológicas (1 y 2), bajo un arreglo factorial con 4 repeticiones.

Posterior a la recolección del material vegetal, se procedió a realizar el picado del forraje a tamaño de partícula de 2.5 cm. Para cada ensilado se pesaron 2.2 kg de forraje picado, se le adicionó el aditivo y se mezcló de manera uniforme, para después ensilarlo. Se elaboraron cuatro silos para cada combinación, etapa fenológica (EF) y aditivo, en bolsas de polietileno de 40 x 10 cm colocadas dentro de tubos de PVC de 50 x 10 cm. El forraje se comprimió usando presión manual, al finalizar se sellaron con cinta adhesiva gris.

Los silos se abrieron a los 28 días post incubación (Limón-Hernández et al. 2019). Se tomaron

muestras de ensilado, las cuales, se procedieron a secar a 65 °C hasta peso constante, posteriormente se molieron a tamaño de partícula de 2 mm para realizar los análisis de composición química.

### Análisis químico de los ensilados

A cada muestra se le determinó por duplicado el contenido de MS, PC a través del método Kjeldahl, Cenizas por incineración en mufla a 550 °C durante cuatro horas, para obtener por diferencia el contenido de materia orgánica (MO) siguiendo las técnicas descritas por la (AOAC 1990). El pH de los ensilados se cuantificó con un potenciómetro Orion portátil, para lo cual se pesaron 50 g de cada tratamiento en matraces Erlenmeyer de 250 mL, se aforaron con 100 mL de agua destilada; posteriormente las mezclas se molieron en una licuadora, se reposaron por 20 minutos y se cuantificó el pH. Las fracciones de fibra (FDN y FDA) se determinaron a través del método ANKOM de microbolsas (Ankom technology) siguiendo el procedimiento de Van-Soest et al. (1991).

### Producción de gas *in vitro*

La producción de gas *in vitro* se realizó de acuerdo con el método de Theodorou et al. (1994) de la siguiente manera: Se obtuvo líquido ruminal de dos vacas sacrificadas en el rastro en la faena de las 6:00 horas, se filtró con dos capas de gasa en un frasco térmico precalentado a 39 °C y fue llevado inmediatamente al laboratorio, la temperatura se mantuvo a 39 °C y se gaseó con CO<sub>2</sub>. Se pesaron muestras de los microsilos (en base seca) (990 ± 5 mg) por cuadruplicado en botellas de 160 mL con tapa de crimpado a 39 °C, además de dos blancos de corrección. Se le adicionó a cada botella una mezcla de 90 mL de solución amortiguadora y 10 mL de líquido ruminal.

Las mediciones de producción de gas se tomaron con un transductor de presión Delta Ohm modelo D0 9704 a las 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 52, 60, 72, 84 y 96 h post incubación. Los valores de producción de gas se corrigieron con el promedio de los blancos de la auto fermentación de inculo ruminal. Las lecturas

de presión se convirtieron en volumen (mL), usando una regresión lineal en la presión registrada en el tipo de botellas utilizadas y los volúmenes de aire inyectados.

Después de las 96 h, los residuos de incubación se analizaron para evaluar la digestibilidad de la materia seca, materia orgánica y fibra detergente neutro. Para la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) el sustrato residual de dos frascos se removió con 50 mL de agua destilada y se filtró con crisoles Gooch (#1), donde se determinó por diferencia de peso de la MS inicial y la MS final. Posteriormente, la MS residual se colocó en una mufla a 450 °C durante 4 h, para determinar el contenido de cenizas, y luego calcular la materia orgánica (MO) residual y la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (DIVMO). Para el cálculo de la digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro (DIVFDN); el sustrato de dos muestras se removió a frascos con tapa roscada, a los que se les adicionó 50 mL de solución de FDN, después fueron colocados en una autoclave a 105 °C durante una hora (a peso constante), y posteriormente se filtraron con crisoles Gooch; el residuo se colocó en una mufla a una temperatura de 105 °C por una hora, se registró el peso del residuo y posteriormente, se incineró en una mufla a 450 °C por cuatro horas. El cálculo de la DIVFDN se realizó por diferencia de peso entre el contenido de FDN inicial en la muestra menos el contenido de FDN residual (Pell y Schofield 1993).

Para determinar los parámetros de fermentación ruminal se utilizó el modelo matemático propuesto por Jessop y Herrero (1996):  $GP = ax(1 - \exp(-ca + t)) + bx(1 - \exp(-cbx(t - lag)))x(t > lag)x - 1$ , de donde: GP = Producción acumulada de gas (mL); a = Producción de gas a partir de la fermentación (mL) de la fracción soluble de los carbohidratos; b = Producción potencial de gas (mL) a partir de la fracción insoluble pero potencialmente degradable; ca = tasa de fermentación de la fracción a; cb = Tasa de fermentación de la fracción b; y lag = Tiempo que transcurre antes de iniciar la fermentación de la FDN. Para la realización de los ajustes de la curva de producción de gas se utilizó el programa Grafit v3.

### Análisis estadístico

Las variables se analizaron mediante un diseño experimental factorial 3x2. Se utilizó el modelo general lineal del programa Minitab V14 y comparación de medias mediante la prueba de Tukey. La significancia se declaró a  $P < 0.05$ , empleando el siguiente modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + e_{k(ij)}$$

Donde  $\mu$  es la media general;  $A_i$  es el efecto debido al factor A (3 Aditivos);  $B_j$  es el efecto debido al factor B (2 etapas fenológicas);  $A*B_{ij}$  es el efecto debido a la interacción de A y B y  $e_{k(ij)}$  es el error experimental.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Composición química de los ensilados

Previo a ensilar un forraje, se requiere que el forraje reduzca la concentración de humedad, para mejorar las características durante el proceso, lo cual dependerá de la etapa fenológica en la que se encuentre. Posterior al corte del forraje se debe considerar que existirán cambios en la calidad del mismo, así como pérdidas de MS, lo cual modifica el producto final. Otro factor que también conlleva a pérdidas de MS es el retraso en el cierre del silo. Sumado a lo anterior deben considerarse las pérdidas normales asociadas a la fermentación en el ensilado, las cuales se deben a la producción de dióxido de carbono (Borreani *et al.* 2018). En el presente trabajo se presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) para MS tanto para etapas fenológicas como para tratamientos ( $P < 0.05$ ). Para tratamientos, la MS en MLZ fue mayor en un 10 y 15% en CTR y BAL respectivamente (Tabla 1).

La MS para MLZ fue de 206.9 g  $kg^{-1}$  lo cual estuvo cercano a lo reportado por Limón-Hernández *et al.* (2018) con 202 g  $kg^{-1}$  para ensilado de canola con melaza al 4% como aditivo. En un experimento realizado por Baytok *et al.* (2005), quienes evaluaron ácido fórmico, melaza e inoculante, reportaron menores pérdidas de materia seca con el inoculante, La MS para CTR, fue menor a lo

**Tabla 1.** Composición química y valores de pH de ensilados de *Tithonia tubiformis*.

Tratamiento	Variable					pH
	MS (g kg <sup>-1</sup> )	PC (g kg <sup>-1</sup> MS)	FDN (g kg <sup>-1</sup> MS)	FDA (g kg <sup>-1</sup> MS)	MO (g kg <sup>-1</sup> MS)	
CTR	187.2 <sup>b</sup>	69.3	564.5 <sup>a</sup>	404.5	883.0 <sup>b</sup>	4.4 <sup>a</sup>
MLZ	206.9 <sup>a</sup>	66.5	514.6 <sup>b</sup>	365.8	882.6 <sup>b</sup>	4.0 <sup>b</sup>
BAL	179.1 <sup>b</sup>	70.4	578.1 <sup>a</sup>	411.1	889.7 <sup>a</sup>	4.1 <sup>b</sup>
Promedio	191.1	68.7	552.4	393.8	885.1	4.2
EEMT	4.56*	3.27 NS	7.75*	16.68 NS	1.98*	0.06*
Valor P	0.01	0.69	0.00	0.06	0.04	0.00
Etapa Fenológica						
1	183.9 <sup>b</sup>	74.3 <sup>a</sup>	557.8	394.8	881.6 <sup>b</sup>	4.2 <sup>a</sup>
2	198.2 <sup>a</sup>	63.1 <sup>b</sup>	547	392.8	888.5 <sup>a</sup>	4.1 <sup>b</sup>
EEMEF	3.73*	2.67*	6.33 NS	13.62 NS	1.62*	0.05*
Valor P	0.04	0.01	0.25	0.08	0.01	0.01
Valor P (T*EF)	0.44	0.98	0.46	0.02	0.9	0.05

MS: Materia seca; PC: Proteína cruda; FDN: Fibra Detergente Neutro, FDA: Fibra Detergente Ácido; MO: Materia orgánica; CTR: Control; MLZ: Melaza; BAL: Bacterias ácido-lácticas; EEMT: Error estándar de la media de tratamientos; EEMEF: Error estándar de la media de etapas fenológicas. Literales diferentes entre filas indican diferencias significativas.

reportado por Betancourt *et al.* (2017) con 232 g kg<sup>-1</sup> quienes evaluaron ensilado de *Tithonia diversifolia*, pero mayor a Arguello-Rangel *et al.* (2020) con 190 g kg<sup>-1</sup> donde también evaluaron *T. diversifolia*. Los contenidos mayores de MS en MLZ pudieron deberse a que hubo menores pérdidas de materia seca y una mayor estabilidad aeróbica en MLZ y al elevado contenido de MS de la melaza (Baytok *et al.* 2005). La baja MS presente en BAL podría estar relacionado a lo que mencionan Sainz-Ramírez *et al.* (2020) que con el uso de inoculantes se presentan pérdidas de MS variable en el ensilado, observándose un efecto escaso en condiciones de elevada humedad. El contenido de MS en este trabajo es muy similar entre las etapas fenológicas, estos resultados coinciden con lo mencionado por Sainz-Ramírez *et al.* (2020), quienes mencionan que existe una controversia para determinar el mejor momento de ensilar.

Respecto a PC (Tabla 1) no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) en tratamientos, pero si en etapas fenológicas ( $P < 0.05$ ), estas diferencias se deben a que conforme avanza la edad del forraje ocurre un descenso de proteína en estructuras vegetativas (Haj-Ayed *et al.*, 2000). Por su parte Baytok *et al.* (2005) mencionaron que los efectos de la melaza sobre el contenido de PC no han sido concluyentes, ya que ha tenido diversos efectos sobre el ensilado como aumentar, mantener o disminuir

la PC. El contenido de PC no se vio afectado por la adición de un aditivo, lo que coincide con lo descrito por Sainz-Ramírez *et al.* (2020) utilizando aditivos para ensilado. Así mismo, Martínez-Loperena *et al.* (2011) evaluaron *T. tubiformis* obteniendo resultados de PC similares al presente estudio con 68.3 g kg<sup>-1</sup> MS, lo cual nos indica que la etapa de madurez de la planta es similar a la ensilada en este trabajo, sin embargo, es menor a Gutiérrez *et al.* (2008) con 200.1 g kg<sup>-1</sup> MS para *T. tubiformis*, y a Arguello-Rangel *et al.* (2020) con 252 g kg<sup>-1</sup> MS para *T. diversifolia*.

En cuanto a FDN (Tabla 1) se presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en tratamientos y para FDA no se presentaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ). Para FDN los tratamientos con mayor concentración fueron BAL y CTR, los cuales se pueden relacionar con la disminución en la MS del ensilado (Weinberg y Chen 2013). Por su parte, Li *et al.* (2022) quienes evaluaron melaza y bacterias ácido lácticas en ensilados donde se presentó un efecto de ambos aditivos sobre la FDN al disminuirla, que podría deberse a que los aditivos fomentan la proliferación de microorganismos y mejoran la respiración microbiana y la fermentación del componente de fibra, lo cual solo se vio reflejado en MLZ en el presente estudio. En CTR, la FDN fue menor a la reportada por Martínez-Loperena *et al.* (2011) con 609.6 g/kg MS y mayor a Gutiérrez *et al.* (2008) con 377.3 g kg<sup>-1</sup> MS

para *T. tubiformis*, mientras que la FDA (Tabla 1) fue cercano a Martínez-Loperena *et al.* (2011) con 399.6 g kg<sup>-1</sup> MS y mayor a Gutiérrez *et al.* (2008) con 360.8 g kg<sup>-1</sup> MS quienes evaluaron *T. tubiformis*. Por otro lado, la disminución en FDN y FDA en el tratamiento MLZ pudo deberse al aumento en la digestión celular debido a la adición de la melaza (Baytok *et al.* 2005).

En MO (Tabla 1) se presentaron diferencias significativas tanto para tratamientos como para etapas fenológicas ( $P < 0.05$ ), el tratamiento con mayor MO fue BAL, para CTR y MLZ se obtuvo un valor de 883 g kg<sup>-1</sup> MS y 882.6 g kg<sup>-1</sup> MS respectivamente, comportamiento diferente a lo reportado por Gül (2023), ya que en su estudio la MO disminuyó con la adición de melaza. Para CTR, la MO fue mayor a lo reportado por Betancourt *et al.* (2017) y Botero *et al.* (2019), quienes evaluaron *T. diversifolia* y encontraron resultados de 863 y 844 g kg<sup>-1</sup> MS respectivamente. En cuanto al pH (Tabla 1) de los ensilados se presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos y etapas fenológicas, donde se observa un mayor pH en CTR comparado con MLZ y BAL.

La adición de inoculantes de BAL al ensilado, provoca una reducción inicial de pH, lo que reduce la actividad de enterobacterias y clostridios, sumado a que minimiza las pérdidas de dióxido de carbono durante la fermentación inicial del ensilado (Borreani *et al.* 2018) y mediante la adición de melaza en el ensilado causan fermentación heterofermentativa que producen un aumento en la concentración de ácido acético (Baytok *et al.* 2005), por lo tanto, el uso de aditivos mejora la preservación del forraje al aumentar la población de bacterias lácticas en el proceso de fermentación (Suárez *et al.*, 2011), lo cual se ve reflejado en el pH de los ensilados, donde se observa que los tratamientos con aditivos (MLZ y BAL) presentaron menor pH en contraste con el tratamiento control (CTR) (Tabla 1).

### Digestibilidad *in vitro* con liquido ruminal de los ensilados y energía metabolizable

En la Tabla 2 se muestran los valores de digestibilidad *in vitro* de la materia seca, materia orgánica y de la fibra detergente neutro, en las cuales, se puede notar que el tratamiento BAC es el que

presentó menor digestibilidad, incluso menor que el tratamiento CTR, en dichas variables se presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos y etapas fenológicas, a excepción de DIVFDN que solo presentó diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en etapas fenológicas.

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca afecta el consumo voluntario de los animales, en este trabajo se observó una mayor digestibilidad en MLZ, comportamiento que concuerda con lo reportado por Gül (2023), lo cual puede deberse a una mayor actividad de los microorganismos durante la fermentación, por la cantidad de carbohidratos solubles que tiene la melaza (Araiza-Rosales *et al.* 2013). De igual forma, estos valores se pueden deber a la menor concentración de FDN presente en el tratamiento MLZ (Weinberg y Chen 2013). Los resultados de digestibilidad *in vitro* de la materia seca en CTR fueron diferentes a lo reportado por Martínez-Loperena *et al.* (2011) con 560.9 g kg<sup>-1</sup> MS para *T. tubiformis*, quienes realizaron diferentes niveles de inclusión de *Tithonia* con rastrojo de maíz, pero menor a Arias-Gamboa *et al.* (2018) con 735 g kg<sup>-1</sup> MS quienes evaluaron *T. diversifolia*, esta diferencia se debe a que ellos cortaron las plantas a los 50 días, lo cual nos indica que las plantas de *Tithonia diversifolia* contienen un mayor contenido de carbohidratos estructurales en comparación con *Tithonia tubiformis*.

La digestibilidad de la materia seca es un factor que afecta la cantidad de energía metabolizable de los forrajes, la cual se utiliza como un indicador de la calidad del forraje (Hurley *et al.* 2021). En este estudio la eEM presentó diferencias ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos y etapas fenológicas. MLZ fue el tratamiento con mayor eEM. Estos valores de eEM fueron menores a los reportados por Arias-Gamboa *et al.* (2018) con 10.9 MJ kg<sup>-1</sup> MS y mayores los encontrados por Martínez-Loperena *et al.* (2011) con 7.9 MJ kg<sup>-1</sup> MS. En cuanto a DIVMO, MLZ presentó un mayor contenido con 687.6 g/kg MS, por su parte, el tratamiento CTR presentó un valor de 660.1 g kg<sup>-1</sup> MS cercano a lo reportado por Díaz-Medina *et al.* (2021) con valores de 655.8 g kg<sup>-1</sup> MS quienes evaluaron diversas arvenses, entre ellas *T. tubiformis*.

No se presentaron diferencias significativas

**Tabla 2.** Digestibilidad *in vitro* y estimación de la energía metabolizable de ensilados de *Tithonia tubiformis*

Tratamiento	Variable			
	DIVMS (g kg <sup>-1</sup> MS)	DIVMO (g kg <sup>-1</sup> MS)	DIVFDN (g kg <sup>-1</sup> MS)	eEM (MJ kg <sup>-1</sup> MS)
CTR	598.5 <sup>b</sup>	660.1 <sup>b</sup>	542.8	8.6 <sup>b</sup>
MLZ	638.1 <sup>a</sup>	687.6 <sup>a</sup>	503.6	9.3 <sup>a</sup>
BAL	583.7 <sup>b</sup>	639.2 <sup>c</sup>	496.2	8.3 <sup>c</sup>
Promedio	606.8	662.3	514.2	8.7
EEMT	8.05*	8.1*	17.46 NS	0.14*
Valor P	0.00	0.00	0.18	0.00
Etapa Fenológica				
1	582.9 <sup>b</sup>	642.4 <sup>b</sup>	493.1 <sup>b</sup>	8.3 <sup>b</sup>
2	630.6 <sup>a</sup>	682.2 <sup>a</sup>	552.8 <sup>a</sup>	9.1 <sup>a</sup>
EEMEF	6.5*	6.63*	14.25*	0.11*
Valor P	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor P (T*EF)	0.01	0.53	0.69	0.01

DIVMS: Digestibilidad *in vitro* de la materia seca; DIVMO: Digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica; DIVFDN: Digestibilidad *in vitro* de la Fibra Detergente Neutro; eEM: estimación de la energía metabolizable; CTR: Control; MLZ: Melaza; BAL: Bacterias ácido-lácticas; EEMT: Error estándar de la media de tratamientos; EEMEF: Error estándar de la media de etapas fenológicas. Literales diferentes entre filas indican diferencias significativas.

( $P > 0.05$ ) en DIVFDN entre tratamientos, comportamiento similar a lo reportado por Comino *et al.* (2014) quienes evaluaron inoculantes a base de bacterias ácido lácticas y no tuvieron un efecto en la DIVFDN. La DIVFDN es un factor que determina el consumo de la materia seca, según Oba y Allen (2003), mencionan que, por cada unidad de aumento en la DIVFDN de la dieta, aumenta 0.177 kg día<sup>-1</sup> de incremento en el consumo voluntario de MS. El promedio de DIVFDN en este trabajo, se encuentra por arriba de lo reportado por Díaz-Medina *et al.* (2021) con 492.1 g kg<sup>-1</sup> MS y menor a Martínez-Loperena *et al.* (2011) con 525.2 g kg<sup>-1</sup> MS. Las diferencias ( $P < 0.05$ ) presentadas en etapas fenológicas indican que la etapa que tiene mayor digestibilidad en esta planta es la 2.

### Evaluación de la producción de gas *in vitro*

En la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos de la producción de gas *in vitro*, así como las fracciones A, B, C1, C2 y el tiempo lag, de los ensilados de *T. tubiformis*, en los cuales solo presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en la fracción B y C2 en las etapas fenológicas. Referente a la fracción A el promedio fue de 27.7 mL gas g<sup>-1</sup>, la cual se encontró por arriba de los valores reportados por Martínez-Loperena *et al.* (2011) con

18.56 mL gas g<sup>-1</sup> para *T. tubiformis*, lo cual pudo deberse al contenido menor de FDN con respecto a estos autores, lo que indicaría mayor disponibilidad de fracción soluble.

Respecto a la tasa de fermentación de la fracción soluble (C1) se puede apreciar que fueron similares, a pesar de que el tratamiento MLZ brinda un aporte extra de carbohidratos solubles, no se vieron afectados los valores. En cuanto a la fracción B, el promedio fue de 158 mL gas g<sup>-1</sup>, lo cual es menor a lo reportado por Martínez-Loperena *et al.* (2011) con 189.8 mL gas g<sup>-1</sup>, pero se puede notar que la etapa 2 presentó mayor producción de gas, lo cual se debe a que esta etapa fenológica es más avanzada con respecto a la etapa 1, lo que indica que había mayor cantidad de carbohidratos de lenta degradación como celulosa y lignina (Vega-García *et al.* 2021).

La tasa de fermentación de la fracción lentamente fermentable (fracción B), así como del tiempo lag en el presente estudio tuvieron valores similares entre tratamientos, los cuales están relacionados a los contenidos de FDN, lo que indica que los tratamientos tienen adecuada disponibilidad de material lentamente fermentable como fuente de energía, lo que favorece a los microorganismos del rumen y acelera la digestión del forraje (Vega-García *et al.*

**Tabla 3.** Producción de gas y parámetros de cinética de fermentación de ensilados de *Tithonia tubiformis*.

Tratamiento	Parámetros				
	A (mL gas g <sup>-1</sup> )	C1 (g h <sup>-1</sup> )	B (mL gas g <sup>-1</sup> )	C2 (g h <sup>-1</sup> )	lag (horas)
CTR	22.9 <sup>b</sup>	0.08	160.98	0.05	8.71
MLZ	31.81 <sup>a</sup>	0.08	159.84	0.05	7.41
BAL	28.37 <sup>a</sup>	0.08	153.23	0.05	7.73
Promedio	27.7	0.1	158.0	0.0	7.9
EEMT	2.35*	0.01 NS	3.46 NS	0.01 NS	0.51 NS
Valor P	0.04	0.97	0.20	0.10	0.07
Etapa Fenológica					
1	27.76	0.08	146.28 <sup>b</sup>	0.05 <sup>a</sup>	8.5
2	27.65	0.08	169.76 <sup>a</sup>	0.04 <sup>b</sup>	7.39
EEMEF	1.92 NS	0.00 NS	2.82*	0.00*	0.42 NS
Valor P	0.44	0.38	0.00	0.01	0.12
Valor P (T*EF)	0.38	0.55	0.10	0.87	0.39

A: Fracción soluble; C1: Tasa de fermentación de la fracción A; B: Fracción lentamente fermentable; C2: Tasa de fermentación de la fracción B; CTR: Control; MLZ: Melaza; BAL: Bacterias ácido-lácticas; EEMT: Error estándar de la media de tratamientos; EEMEF: Error estándar de la media de etapas fenológicas. Literales diferentes entre filas indican diferencias significativas (P > 0.05); NS: no significativo.

2021).

De acuerdo con los resultados obtenidos, la adición de melaza mejora la calidad química del forraje, así como los parámetros de fermentación ruminal y de producción de gas del ensilado de *Tithonia tubiformis*. En cuanto a la etapa fenológica afecto a todas las variables evaluadas.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma del Estado de México por el financiamiento del proyecto “Evaluación de *Tithonia diversifolia* como forraje no convencional para sistemas de producción de leche en pequeña escala como alternativa al cambio climático” con registro UAEM 6236/2020CIB.

## LITERATURA CITADA

- AOAC (1990) Protein (crude) in animal feed. Copper catalyst Kjeldahl method. Official Method of Analysis of The Association of Official Analytical Chemists. 15th edn. Arlington, Virginia. 74p.
- Argüello-Rangel J, Mahecha-Ledesma L, Angulo-Arizala J (2020) Perfil nutricional y productivo de especies arbustivas en trópico bajo, Antioquia (Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 21: 1-20. DOI: 10.21930/rcta.vol21\_num3\_art:1700
- Araiza-Rosales E, Delgado-Licon E, Carrete-carreón FO, Medrano-Roldán H, Solís-Soto A, Murillo-Ortiz M, Haubi-Segura C (2013) Degradabilidad ruminal *in situ* y digestibilidad *in vitro* de diferentes formulaciones de ensilados de maíz-manzana adicionados con melaza. *Avances en Investigación Agropecuaria* 17: 79-96.
- Arias-Gamboa LM, Alpízar-Naranjo A, Castillo-Umaña MA, Camacho-Cascante MI, Arronis-Díaz V, Padilla-Fallas JE (2018) Producción, calidad bromatológica de la leche y los costos de suplementación con *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray, en vacas Jersey. *Pastos y Forrajes* 41: 248-253.
- Baytok E, Baytok T, Karsli MA, Muruz H (2005) The Effects of Formic Acid, Molasses and Inoculant as Silage Additives on Corn Silage Composition and Ruminal Fermentation Characteristics in Sheep. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 29: 469-474.
- Betancourt JA, Núñez E, Luz A, Castaño J, Gastón A (2017) Suministro de ensilaje de *Tithonia diversifolia* sólo o

- mezclado con afrecho de yuca en la dieta de pollos de engorde. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 20: 203-213.
- Blanco Y, Leyva A (2007) Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. *Cultivos Tropicales* 28: 21-28.
- Borreani G, Tabacco E, Schmidt RJ, Holmes BJ, Muck RE (2018) Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science* 101: 3952-3979.
- Botero JM, Gómez A, Botero MA (2019) Rendimiento, parámetros agronómicos y calidad nutricional de la *Tithonia diversifolia* con base en diferentes niveles de fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 10: 789-800.
- Comino L, Tabacco E, Righi F, Revello-Chion A, Quarantelli A, Borreani G (2014) Effects of an inoculant containing a *Lactobacillus buchneri* that produces ferulate-esterase on fermentation products, aerobic stability, and fibre digestibility of maize silage harvested at different stages of maturity. *Animal Feed Science and Technology* 198: 94-106.
- Cueva SF, Harper M, Roth GW, Wells H, Canale C, Gallo A, Masoero F, Hristov AN (2023) Effects of ensiling time on corn silage starch ruminal degradability evaluated *in situ* or *in vitro*. *Journal of Dairy Science* 106: 3961-3974.
- Díaz-Medina LK, Colín-Navarro V, Arriaga-Jordán CM, Brunett-Pérez L, Vázquez-de-Aldana BR, Estrada-Flores JG (2021) *In vitro* nutritional quality and antioxidant activity of three weed species as feed additives for sheep in the Central Highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production* 53: 2-9.
- Gómez GC, Fernández ML, Barrionuevo MJ (2020) Ciclo de vida de *Chlosyne lacinia saundersii* (Lepidoptera: Nymphalidae) sobre *Tithonia tubaeformis* (Jacq.) Cass. en condiciones controladas de laboratorio. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina* 79: 1-14. DOI: 10.25085/rsea.790405.
- González-Castillo JC, Hahn-von-Hessberg CM, Narváez-Solarte W (2014) Características botánicas de *Tithonia diversifolia* (Asterales: Asteraceae) y su uso en la alimentación animal. *Boletín científico centro de museos Museo de Historia Natural Universidad de Caldas* 18: 45-58.
- Gül S (2023) The impact of wheat bran and molasses addition to caramba mix silage on feed value and *in vitro* organic matter digestibility. *Journal of King Saud University* 35(1): 102400. DOI: 10.1016/j.jksus.2022.102400.
- Gutiérrez D, Mendoza S, Serrano V, Bah M, Pelz R, Balderas P, León F (2008) Proximate composition, mineral content, and antioxidant properties of 14 Mexican weeds used as fodder. *Weed Biology and Management* 8: 291-296.
- Gutiérrez DM, Ortíz D, Muñoz G, Bah M, Serrano V (2010) Contenido de sustancias antinutricionales de malezas usadas como forraje. *Revista Latinoamericana de Química* 38: 58-67.
- Haj-Ayed M, González J, Caballero R, Alvir MR (2000) Nutritive Value of on-farm common vetch-oats hays. II Ruminal degradability of dry matter and crude protein. *Annales de zootechnie* 49: 391-398.
- Hurley MA, Lewis E, Beecher M, Garry B, Fleming C, Boland T, Hennessy D (2021) Dry Matter Intake and In Vivo Digestibility of Grass-Only and Grass-White Clover in Individually Housed Sheep in Spring, Summer and Autumn. *Animals* 11: 1-12. DOI: 10.3390/ani11020306.
- Jessop NS, Herrero M (1996) Influence of soluble components on parameter estimation using the *in vitro* gas production technique. *Animal Science* 62: 626-627.
- Larenas G, De Viana ML, Chafatinos T, Escobar NE (2004) Relación suelo-especie invasora (*Tithonia tubaeformis*) en el sistema ribereño del río Arenales, Salta, Argentina. *Ecología Austral* 14: 19-29.

- Li Y, Du S, Sun L, Cheng Q, Hao J, Lu Q, Ge G, Wang ZJ, Jia Y (2022) Effects of lactic acid bacteria and molasses additives on dynamic fermentation quality and microbial community of native grass silage. *Frontiers in Microbiology* 13: 830121: DOI: 10.3389/fmicb.2022.830121.
- Limón-Hernández D, Rayas-Amor AA, García-Martínez A, Estrada-Flores JG, Núñez M, Cruz RG, Morales-Almaráz E (2019) Chemical composition, *in vitro* gas production, methane production and fatty acid profile of canola silage (*Brassica napus*) with four levels of molasses. *Tropical Animal Health and Production* 51: 1579-1584.
- Martínez-Fernández A, Soldado A, Roza-Delgado B, Vicente F, González-Arrojo MA, González-Arrojo A (2013) Modelling a quantitative ensilability index adapted to forages from wet temperate areas. *Spanish Journal of Agricultural Research* 11: 455-462.
- Martínez-Loperena R, Castelán-Ortega OA, González-Ronquillo M, Estrada-Flores JG (2011) Determinación de la calidad nutritiva, fermentación *In Vitro* y metabolitos secundarios en arvenses y rastrojo de maíz utilizados para la alimentación del ganado lechero. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14: 526-536.
- Morales-Almaráz E, Vieyra-Alberto R, Domínguez-Vara IA, López-González F, Arriaga-Jordán CM, Sánchez-Torres JE (2021) Perfil mineral sérico de vacas Holstein en lactación en sistemas mixtos de estabulación-pastoreo. *Agronomía Mesoamericana* 21: 45-62.
- Pell AN, Schofield P (1993) Computerised monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*. *Journal of Dairy Science* 76: 1063-1073.
- Pérez-Martínez K, García-Valencia S, Soto-Simental S, Zepeda-Bastida A (2018) Parámetros productivos de conejos alimentados con diferentes partes de la planta *Tithonia tubiformis*. *Abanico Veterinario* 8: 108-114.
- Ruiz V, Bravo EM, Loaeza RG (2001) Cubiertas vegetales y barreras vivas: tecnologías con potencial para reducir la erosión en Oaxaca, México. *Terra Latinoamericana* 19: 89-95.
- Sainz-Ramírez A, Botana A, Pereira-Crespo S, González-González L, Veiga M, Resch C, Valladares J, Arriaga-Jordán CM, Flores-Calvete G (2020) Efecto de la fecha de corte y del uso de aditivos en la composición química y calidad fermentativa de ensilado de girasol. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 11: 620-637.
- Suárez R, Mejía J, González M, García DE, Perdomo DA (2011) Evaluación de ensilajes mixtos de *Saccharum officinarum* y *Gliciridia sepium* con la utilización de aditivos. *Pastos y Forrajes* 34: 69-86.
- Theodorou MK, Williams BA, Dhanoa MS, McAllan AB, France J (1994) A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology* 48: 185-197.
- Oba M, Allen MS (2003) Effects of diet fermentability on efficiency of microbial nitrogen production in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86: 195-207
- Van-Soest PJ, Robertson JB, Lewis BA (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3597.
- Vega-García JI, Colín-Navarro V, Estrada-Flores JG, Arriaga-Jordán CM, López-González F (2021) *In vitro* nutritional value of black oat (*Avena strigosa*) in grazing or silage for small scale dairy systems. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24(3): 102.
- Weinberg ZW, Chen Y (2013) Effects of storage period on the composition of whole crop wheat and corn silages. *Animal Feed Science and Technology* 185: 196-200.