

Efecto del corte de forraje de girasol (*Helianthus annuus*) en dos etapas fenológicas sobre la producción y calidad del ensilaje^{1,2}

Edgar Quijia³ y Elide Valencia⁴

J. Agric. Univ. P.R. 107(1):25-40 (2023)

RESUMEN

Quando las condiciones climáticas limitan la producción de cultivos tradicionales (sorgo y maíz) para la conservación en forma de ensilaje, el girasol (*Helianthus annuus*) se presenta como una alternativa para la alimentación de rumiantes dada su gran capacidad de producción de biomasa y altos niveles de proteína y energía. Se evaluó el rendimiento de materia seca (RMS), valor nutricional, características de fermentación (CF) y estabilidad aeróbica (EA) de ensilajes de girasol (cv. 'Camaro' y cv. 'Torino') en los estados fenológicos (EF) R6 y R8. Se utilizó un diseño de bloques completos aleatorizados (DBCA) con cuatro repeticiones y un arreglo de parcelas divididas. Los forrajes se ensilaron en microsilos con capacidad de 50 L. Hubo diferencia ($p < 0.05$) en el contenido de materia seca (MS) del forraje entre los EF R6 y R8 (15.4 vs. 23%), pero no entre variedades. El RMS no fue diferente (7.1 Mg/ha) entre cultivares ni entre EF. El ensilaje de 'Torino' presentó diferencias entre R6 y R8, para MS (14 vs. 22%), fibra detergente neutro (FDN; 43 vs. 50%), nutrientes digeribles totales (NDT; 68.5 vs. 66.2%), energía neta para lactación (ENL; 1.60 vs. 1.55 Mcal/kg MS) y valor relativo del forraje (VRF; 136 vs. 109), pero no para proteína bruta (PB; 11%) ni fibra detergente ácido (FDA; 36%). Las CF de 'Torino' en R6 y R8 difirieron ($p < 0.05$) en pH (3.8 vs. 4.3), ácido láctico (AL; 12.5 vs. 8%) y ácido acético (AA; 2.4 vs. 1.8%), pero no en contenido de ácido butírico (AB; 0.7%), ácido propiónico (AP; 0.09%) y nitrógeno amoniacal como porcentaje del nitrógeno total ($\text{NH}_3\text{-N}$; 5.75%). El EF no tuvo ningún efecto sobre la EA del ensilaje de Torino. El largo del tiempo de exposición al aire afectó el pH y la temperatura de los ensilajes, presentando diferencias después del primer día. El EF R6 presentó mejores condiciones para la elaboración de ensilaje de girasol. Con el fin de mejorar la fermentación, se sugiere evaluar la utilización de posibles aditivos.

Palabras clave: características de fermentación, estabilidad aeróbica, valor nutricional

¹Manuscrito sometido a la Junta Editorial el 19 de diciembre de 2022.

²Este trabajo fue financiado por el Instituto Nacional de Alimentos y Agricultura (NIFA, por sus siglas en inglés) del Departamento de Agricultura Federal, USDA-NIFA-HATCH (Proyecto H-464).

³Exestudiante graduado, Departamento de Ciencias Agroambientales, Universidad de Puerto Rico- Mayagüez, Box 9000, Mayagüez, PR 00681.

⁴Catedrático, Departamento de Ciencias Agroambientales, Universidad de Puerto Rico- Mayagüez, Box 9000, Mayagüez, PR 00681. E-mail: elide.valencia@upr.edu. *Autor para correspondencia Tel.: 787-951-6444.

ABSTRACT

Effect of harvesting sunflower (*Helianthus annuus*) forages at two phenological stages on production and silage quality

When weather conditions limit the production of traditional crops such as sorghum and corn for forage conservation as silage, sunflower (*Helianthus annuus*) represents an alternative for ruminant feeding, due to its great biomass production capacity and high protein and energy values. The dry matter yield (DMY), nutritional value, fermentation characteristics (FC) and aerobic stability (AS) of silages of sunflower forage (cv. 'Camaro' and 'Torino') at phenological growth stages (PGS) R6 and R8, were evaluated. A randomized complete block design (RCBD) was used with four replications in a split plot arrangement. The forages were ensiled in microsilos of 50 L capacity. There was a difference ($p < 0.05$) in forage dry matter (DM) content between PGS R6 and R8 (15.4 vs. 23%), but not between cultivars. However, there was no difference ($p > 0.05$) in DMY (7.1 Mg/ha) neither between cultivars nor PGS. Silage FC were determined in 'Torino' only and differences were found between R6 and R8 in DM (14 vs. 22%), neutral detergent fiber (43 vs. 50%), total digestible nutrients (68.5 vs. 66.2%), net energy for lactation (1.60 vs 1.55 Mcal/kg DM) and relative feed value (136 vs. 109), but not in crude protein (11%) or acid detergent fiber (36%) levels. Regarding FC, PGS R6 and R8 differed ($p < 0.05$) in pH (3.8 vs. 4.3), lactic (12.5 vs. 8%) and acetic acid (2.4 vs. 1.8%), but not in butyric acid (0.7%), propionic acid (0.09%) nor ammonia nitrogen as a percentage of total nitrogen (5.75%). Phenological growth stages did not affect the AS of 'Torino' silage. The duration of aerobic exposure influenced silage pH and temperature values, showing differences after the first day. The PGS R6 showed better conditions for the preparation of sunflower silage. Improved fermentation might be achieved through the use of additives.

Keywords: aerobic stability, fermentation characteristics, nutritional value

INTRODUCCIÓN

En muchos países, inclusive en los de zona templada, el maíz es la especie más utilizada para la elaboración de ensilajes (Reyes et al., 2009). En el norte de los Estados Unidos de América, el ensilaje de maíz constituye una fuente importante de forraje para las vacas lecheras (Contreras-Govea et al., 2009) y también se adapta para ser usado en raciones de bajo costo para ganado de engorde (Roth y Heinrichs, 2001). Según Oramas y Vivas (2007) y Hazard et al. (2001) una limitante del ensilaje de maíz en monocultivo es sus niveles bajos de proteína bruta y razón para asociar con leguminosas (Contreras-Govea et al., 2009; Reyes et al., 2009; Abdelhadi, 2005; Vélez et al., 2006). Por esta razón, y dada la necesidad de satisfacer los requerimientos de forraje y nutrientes para la época seca, en particular de proteína, se han realizado estudios económicos para establecer alternativas viables. Estos estudios muestran el potencial de aprovechamiento del girasol (*Helianthus annuus*) en el sector agropecuario, orientado a la obtención de forraje para la alimentación de rumiantes (Penichet et al., 2008).

La gran adaptabilidad del girasol a diferentes condiciones de suelo (en clima templado, tropical y subtropical) y déficit de agua, tolerancia a una amplia gama de temperaturas y bajas exigencias tecnológicas, imparten a este cultivo una alta ventaja económica y agronómica. El girasol se puede cultivar en zonas donde los cultivos tradicionales, como el maíz, presentan limitaciones en su producción y resulta también ventajoso en asociaciones con el sorgo. El girasol se presenta como una alternativa para la época seca debido a la elevada producción de biomasa verde por hectárea y al alto porcentaje de proteína bruta de sus hojas, tallos y flores (Romero y Mattera, 2008; Clemente, 2009; Ribeiro et al., 2007; Penichet et al., 2008). Sin embargo, la fracción fibrosa incluye una mayor proporción de lignina, afectando su digestibilidad en comparación con los ensilajes de maíz y de sorgo. Esta característica puede limitar su uso en animales con altos requerimientos nutricionales (Ribeiro et al., 2007).

Al comparar la inflorescencia o el capítulo del girasol contra las partes vegetativas de plantas de girasol desde el estado de inicio de floración hasta la madurez fisiológica, se han observado respectivos valores de 9.2 a 10.8 y 6.1 a 3.3% proteína bruta (PB); 29.5 a 30.4 y 48.4 a 65.5% fibra detergente neutro (FDN); 23.5 a 37.1 y 36.9 a 36.2% fibra detergente ácido (FDA); 3.9 a 34.6 y 0.8 a 0.9% extracto etéreo (EE); y 76.2 a 57.4 y 55.2 a 36.6% de digestibilidad *in vitro* de materia orgánica (DIVMO) (Romero et al., 2009). Los valores típicos de producción y concentración energética del cultivo son de 8.4 ton/ha de materia seca (MS) y 0.92 unidad forrajera de leche por kg de MS (UFL/kg MS = 1.73 Mcal EN_L). Estos resultados sugieren que conviene realizar la cosecha hasta la cuarta o quinta semana después de la aparición de las flores para aprovechar el incremento en productividad y la alta concentración energética en estados más avanzados. Esta práctica también contribuye a minimizar las pérdidas por efluentes que generan los altos contenidos de humedad. Sin embargo, es necesario considerar los altos aportes de lípidos cuando se cosecha el girasol en los estados más avanzados ya que esto puede limitar su nivel de inclusión en la dieta (Pereira et al., 2014).

Investigaciones en diferentes estados fenológicos (R7, R9 y madurez de cosecha) del girasol referente a su rendimiento y calidad de fermentación han revelado un aumento significativo en el porcentaje de MS a mayor madurez y un mayor rendimiento de materia seca (RMS) en el estado R9 (Romero et al., 2009). Entre los criterios indicativos de la fermentación, el pH mostró menores valores en R7 y R9, pero con elevado nitrógeno amoniacal. El menor contenido de PB ocurrió en la madurez de cosecha. Según este ensayo el momento más favorable para la cosecha en términos de producción y parámetros cualitativos fue en el estado R9

(Romero et al., 2009). Otros ensayos con cosechas en R6 y R9 revelan diferencias significativas en el porcentaje de MS (17.5 vs. 38.8), pero no en el RMS (11,842 vs. 13,483 kg/ha) y se registran valores de 10.5 y 8.7 % PB, 48.6 y 55.1 % FDN, y 32.7 y 36.5 % FDA para R6 y R9, respectivamente. Los valores de $\text{NH}_3\text{-N}$ y pH en R6 fueron 12.4% y 4.5, mientras que en R9 se registran respectivos valores de 13.8% y 5.0. Según Romero y Mattera (2008), el girasol puede tener altos rendimientos de forraje comparables a los de maíz y sorgo, y con una calidad aceptable.

Por otro lado, evaluaciones del desempeño animal muestran que vacas alimentadas con ensilaje de girasol en sustitución del ensilaje de maíz presentan una reducción relativa en la producción de leche de un 8% e incremento en el contenido de grasa en la leche por 12% (Pereira et al., 2014). En un estudio realizado en la Universidad de Wisconsin, vacas cuya dieta incluyó una sustitución de ensilaje de maíz de hasta un 66% por ensilaje de girasol mantuvieron su producción de 27.27 kg diarios de leche sin mostrar un efecto en los rendimientos de leche y de proteína (García, 2006).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el RMS de dos cultivares de girasol en los estados fenológicos R6 y R8; y determinar, en los ensilajes resultantes, la concentración de PB, FDN, FDA, los productos de fermentación y la estabilidad aeróbica (EA), en busca de una edad óptima de cosecha para el ensilamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

El cultivo se estableció en el mes de marzo de 2014 en la Subestación Experimental Agrícola (EEA) de Isabela, Puerto Rico, la cual está ubicada en la zona noroeste de la isla (18° 30' Latitud norte y 67° 00' Longitud oeste) a 128 msnm. La precipitación promedio anual es de 1675 mm, con una temperatura media anual de aproximadamente 25° C y fluctuaciones al año entre 19 y 29 °C. Los suelos del lugar son del orden Oxisol, serie Coto (very-fine, kaolinitic, isohyperthermic Typic Hapludox) (Muñoz et al., 2018). Se utilizó un área aproximada de 648 m² (36 x 18), donde se realizó labranza convencional con pase de arado y rastra a una profundidad aproximada de 30 cm.

Antes de la siembra del cultivo se analizó el suelo, para lo cual se obtuvo una muestra compuesta de aproximadamente 500 g, realizando un muestreo aleatorio en forma de zigzag y utilizando un barreno a una profundidad de 25 cm. El análisis del suelo reveló un pH de 7.07, una conductividad de 389 $\mu\text{S}/\text{cm}$, capacidad de intercambio catiónico de 11 meq/100 g, contenido de materia orgánica de 2.89% y concentraciones de 18, 86, 121 mg/kg de fósforo disponible, potasio y magnesio, respectivamente.

Dos híbridos de tipo oleico, ‘Torino’ y ‘Camaro II’ (Anzu Brothers, Inc.⁵), se establecieron en parcelas de 12 surcos de 6 m de largo y 0.6 m entre surcos, con un distanciamiento entre plantas de 10 cm, utilizando una sembradora de hileras. Se realizó un control mecánico de malezas por medio de una cultivadora y un control químico selectivo para gramíneas (pasto Johnson, *Sorghum halepense*) con el herbicida Fusilade® DX (1.5 L/ha). Además, se realizó un monitoreo semanal para el control de plagas y enfermedades, y aplicación de riego aéreo por cañón.

Se evaluaron los dos cultivares de girasol considerando los estados fenológicos R6 (anthesis completa y flores liguladas marchitas) y R8 (receptáculo completamente amarillo y brácteas verdes). De esta manera se obtuvieron cuatro tratamientos (combinaciones) para el cultivo. Las unidades experimentales estuvieron representadas por sub-parcelas de seis surcos cada una.

El cultivo se estableció utilizando un diseño de bloques completos aleatorizados (DBCA) con cuatro repeticiones y un arreglo de parcelas divididas, donde el criterio de bloqueo corresponde al historial de siembra, la parcela principal estuvo representada por el cultivar y la sub-parcela por el estado fenológico. Se realizó Análisis de Varianza (ANDEVA) utilizando el Modelo Lineal General (PROC GLM) con ayuda del paquete estadístico “Statistical Analysis System” (SAS versión 9.1®) (SAS, 2009); para la comparación entre las medias de los tratamientos, se empleó la prueba de diferencia mínima significativa de Fisher (DMS), con un nivel de probabilidad de $p < 0.05$. Para la evaluación de estas variables, se utilizó un DBCA con cuatro repeticiones y medidas repetidas en el tiempo. Los análisis involucran los mismos métodos de ANDEVA y DMS, antes citados.

La cosecha del forraje de girasol se realizó en los estados fenológicos R6 y R8 antes descritos. Se efectuó un monitoreo semanal hasta observar los momentos indicados para la cosecha y ensilamiento del cultivo. Se elaboró un microsilo con forraje correspondiente a cada uno de los tratamientos y repeticiones. El material vegetal de cada subparcela se cortó manualmente, con machete, y se trozó en pedazos de aproximadamente 1 a 3 cm de largo con una trituradora de forraje (Troy-Bilt modelo CS 4325). El forraje trozado se conservó en microsilos de 50 L de capacidad, compactando manualmente hasta llenar el espacio interior.

⁵Los nombres de compañías y de marcas registradas solo se utilizan para proveer información específica y su uso no constituye garantía por parte de la Estación Experimental Agrícola de la Universidad de Puerto Rico, ni endoso sobre otros productos o equipo que no se mencionan y puedan estar disponibles.

Los microsilos llenos se sellaron herméticamente y se almacenaron a temperatura ambiente.

Una vez que el forraje de los tratamientos alcanzó el estado fenológico deseado, se cosecharon las dos hileras centrales (7.2 m²) de cada subparcela y se pesaron para estimar la producción de materia fresca o biomasa (MF) de cada tratamiento. Del forraje cosechado para estimar la producción de MF, se tomó una muestra de aproximadamente 500 g, la cual se secó en un horno de aire forzado a 65° C por 72 horas. El porcentaje de MS se calculó considerando el peso inicial y final de la muestra. Con los valores estimados de producción de forraje fresco y el contenido de materia seca, se calculó el RMS de los tratamientos. Estas variables se analizaron considerando los dos estados fenológicos citados en un solo cultivar. Para esto, se seleccionó al cultivar ‘Torino’ con base en su desempeño en RMS.

Los silos previamente seleccionados se abrieron a tiempos mayores a 60 días de fermentación para recolectar muestras de ensilaje de aproximadamente 500 g, que se colocaron en bolsas plásticas de cierre hermético, se congelaron y se enviaron al laboratorio comercial Dairy One Forage Lab, de Ithaca, Nueva York para su análisis. El protocolo de muestreo del ensilaje y manejo de las muestras fue acorde a los términos establecidos por el laboratorio.

Como variables nutricionales, se solicitó determinación analítica o cálculo de los contenidos de MS, PB, FDN, FDA, EN, y NDT. De los productos de fermentación se solicitó contenidos de ácido láctico, ácido acético, razón láctico: acético, ácido propiónico, ácido butírico, ácido isobutírico, ácidos totales, amonio proteína equivalente (APE) y nitrógeno amoniacal como porcentaje del N total (NH₃-N), y el pH.

Como variable nutricional adicional, se calculó el valor relativo del forraje (VRF). Este índice supone una valoración objetiva del forraje que relaciona el potencial teórico de consumo de MS (CMS = 120/%FDN) y su digestibilidad estimada [MSD = 88.9 - (0.779 * %FDA)], donde VRF = (CMS*MSD)/1.29. Este índice permite la clasificación de los forrajes en categorías de: excelente (>151), primera (125 a 151), segunda (103 a 124), y tercera (87 a 102).

La determinación de estabilidad aeróbica fue una continuación de la evaluación de los mismos tratamientos empleados en la fase anterior de valor nutricional y productos de fermentación. Se colocó 1,500 g de ensilaje, de cada repetición y tratamiento, en envases de isopor cubiertos con plástico y se expusieron a condiciones aeróbicas por un período de siete días. Cada muestra contó con un termómetro insertado en la masa de ensilaje y se registró la temperatura cada seis horas. La EA fue definida como el número de horas que le tomó a la temperatura del ensilaje para incrementar 2° C por encima de la temperatura del

ambiente (Kung et al., 2000). Se evaluó el efecto del tiempo de exposición al aire sobre la estabilidad de los ensilajes a 0, 1, 3, 5 y 7 d de exposición.

Para cada uno de estos tiempos de exposición aeróbica, también se registró el valor de pH de los ensilajes. Se pesó 10 g de ensilaje en un tubo de centrífuga, se agregaron 90 mL de agua destilada, se agitó y se colocó en la centrífuga a 3,000 rpm durante cinco minutos. El pH de la solución resultante fue medido con un electrodo de vidrio (Hardy, 1973).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación estadística de dos cultivares de girasol ('Torino' y 'Camaro II') en dos estados fenológicos (R6 y R8) no mostró una interacción significativa ($p > 0.05$) entre cultivar y EF, ni un efecto principal del cultivar ($p > 0.05$) sobre las variables biomasa producida, % MS y RMS (Cuadro 1). Romero et al. (2009) tampoco encontraron diferencias entre los híbridos Rumbosol91 y MorganMG80, ni una interacción de los híbridos por tres EF (R7, R9 y MC madurez de cosecha), para las variables % MS y RMS. Se registró un RMS promedio para los dos híbridos combinados de 12.4 Mg/ha, lo que supera al promedio de las variedades usadas en el presente estudio por un margen de 5.3 Mg.

El EF tampoco afectó significativamente ($p > 0.05$) al RMS, obteniéndose un valor promedio de R6 y R8 combinados de 7.1 Mg/ha (Cuadro 1). Pereira et al. (2014) tampoco encontraron diferencias significativas entre los estados R6 y R8 del cultivar PR63A90 de Pioneer, siendo el RMS promedio de 8.1 Mg/ha; de igual forma, Romero y Mattered (2008) no encontraron diferencias significativas en el RMS del cul-

CUADRO 1.—Producción de biomasa y porcentaje y rendimiento de materia seca de dos cultivares de girasol en dos estados fenológicos.

Variables	'Camaro II'		'Torino'		p-valor		
	Estados fenológicos				C ³	E ⁴	C*E ⁵
	R6 ¹	R8 ²	R6 ¹	R8 ²			
Biomasa (Mg/ha)	42.7 a	29.9 b	46.3 a	34.7 b	NS ⁸	0.0063	NS ⁸
MS ⁶ (%)	16.19 b	22.97 a	14.58 b	22.71 a	NS ⁸	<0.0001	NS ⁸
RMS ⁷ (Mg/ha)	6.9 a	6.8 a	6.8 a	7.9 a	NS ⁸	NS ⁸	NS ⁸

¹Antesis completa con flores liguladas marchitas; ²Receptáculo completamente amarillo con brácteas verdes; ³Efecto de cultivar; ⁴Efecto de estado fenológico; ⁵Interacción Cultivar*Estado fenológico; ⁶Materia seca; ⁷Rendimiento de materia seca; ⁸No significativo.

Dentro de la misma hilera promedios seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

tivar 'Paraíso 33' de Nidera entre los estados R6 y R9, obteniendo un promedio de 12.6 M/ha, lo que supera al RMS promedio del presente estudio por 5.5 Mg. En cambio, Romero et al. (2009) observaron que el RMS de 15.9 Mg/ha en el estado R9 superó ($p < 0.05$) por 17% el de R7 y por 107% el de MC. Este máximo RMS citado es 2.24 veces mayor al promedio del presente estudio.

El EF afectó ($p < 0.05$) la producción de biomasa y el % MS (Cuadro 1). En el estado R6 el promedio de MF fue de 45 Mg/ha, luego disminuyó hasta el estado R8 (32 Mg/ha). Esta disminución reflejaría la pérdida de humedad por el forraje. El cultivar 'Paraíso 33' de Nidera ha mostrado el mismo efecto del EF al comparar R6 (68 Mg/ha) con R9 (34.8 Mg/ha) (Romero y Mattera, 2008).

El porcentaje de MS fue mayor ($p < 0.05$) en el estado R8 (22.84) superando por 7.45 unidades porcentuales al R6 (Cuadro 1). Pereira et al. (2014), Romero et al. (2009) y Romero y Mattera (2008) también han indicado un aumento en el contenido de MS a medida que se retrasa el tiempo de cosecha. Pereira et al. (2014) obtuvieron un % MS de 18.9 en R6 y 29.5 en R8; Romero y Mattera (2008), 16.9 y 17.5 en R6 y 20.9 y 38.8 en R9; y Romero et al. (2009), 20, 27 y 89 en los estados R7, R9 y MC, respectivamente.

El ensilaje de girasol 'Torino' no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los estados fenológicos R6 y R8, en contenido de PB (10.77%) y FDA (36.15%) (Cuadro 2). Pereira et al. (2014) obtuvieron resultados análogos con forraje de girasol e informaron contenidos promedios de 6% PB y 37.1% FDA para R6 y R8. El acuerdo entre aquel y el presente estudio fue estrecho en contenido de FDA, pero el de PB fue menor por 4.77 unidades porcentuales en el primer caso. Romero et al. (2009) observaron valores de FDA de 25.7 y 28.6% para ensilajes de girasol en R7 y R9, y un valor promedio de 9.2% PB sin diferencias significativas entre estos estados. Romero y Mattera (2008) compararon los estados R6 y R9 y tampoco obtuvieron diferencias significativas en contenido de PB y FDA, siendo los valores promedio de 9.6 a 12.85 % PB y 24.5 a 34.6 % FDA. De manera general, el ensilaje de girasol muestra mayor contenido de PB y de FDA en comparación con ensilajes tradicionales (maíz y sorgo) (Andreo et al., 2011). Tabacco et al. (2011) informaron contenidos de PB y FDA en ensilaje de maíz de 6.72 y 21.4%, y en ensilaje de sorgo de 5.27 y 21.3%, respectivamente. Otras evaluaciones en ensilaje de maíz muestran un valor promedio de 7.21% PB (Kristensen et al., 2010).

En nuestro estudio, el EF ejerció efectos significativos ($p < 0.05$) sobre las variables MS, FDN, NDT, ENL, ENm, ENg y VRF. Para el estado de anéxsis completa (R6), los promedios fueron de 13.95 % MS, 42.73 % FDN, 68.50 % NDT, 136 VRF y 1.60, 1.57 y 0.97 Mcal/kg MS para ENL,

CUADRO 2.—*Porcentaje de materia seca, proteína bruta, fibra detergente ácido y neutro, nutrientes digeribles totales, energía neta y valor relativo del forraje de ensilajes de girasol ('Torino') en dos estados fenológicos.*

Estados fenológicos	MS ¹	PB ²	%				Mcal/kg		VRF ⁹
			FDA ³	FDN ⁴	NDT ⁵	ENI ⁶	ENm ⁷	ENG ⁸	
R6 ¹⁰	13.95 b	11.23 a	34.00 a	42.73 a	68.50 a	1.60 a	1.57 a	0.97 a	136 a
R8 ¹¹	21.60 a	10.30 a	38.30 a	50.30 b	66.25 b	1.55 b	1.49 b	0.90 b	109 b

¹Materia seca; ² Proteína bruta; ³ Fibra detergente ácido; ⁴ Fibra detergente neutro; ⁵ Nutrientes digeribles totales; ⁶ Energía neta de lactancia; ⁷ Energía neta de mantenimiento; ⁸ Energía neta de ganancia; ⁹ Valor relativo del forraje; ¹⁰ Antesis completa con flores liguladas marchitas; ¹¹ Receptáculo completamente amarillo con brácteas verdes.

Dentro de la misma columna promedios seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas (p < 0.05).

ENm y ENg, respectivamente. En el estado fenológico R8 se registraron mayores ($p < 0.05$) contenidos de MS y FDN, y menores valores de NDT, EN y VRF. De acuerdo al VRF el ensilaje de girasol en EF R6 tendría una calidad de primera y en R8 una calidad de segunda (Cuadro 2). A diferencia de los resultados presentes, Pereira et al. (2014) no encontraron diferencias significativas en FDN (44.55%) entre los estados R6 y R8 en forraje de girasol, pero sí un incremento significativo en la ENl al pasar de R6 a R8 (1.38 a 1.61 Mcal/kg MS). Romero et al. (2009) observaron un aumento en el contenido de MS (19.4, 22.3 y 63.2%) en ensilaje de girasol al progresar por los estados R7, R9 y madurez de cosecha (MC), y en FDN con valores correspondientes de 34.5, 40.8 y 53.7%. Romero y Mattera (2008) también encontraron aumentos significativos en FDN de ensilajes de girasol en estados R6 (48.6 a 29.4%) y R9 (55.1 a 38.2%). La calidad de las partes vegetativas de un forraje disminuye a mayor estado de madurez (Vélez y Berger, 2011; Pirela, 2005), lo cual se ve reflejado en el ensilaje de girasol en estado R8, cuyo contenido de FND es alto y los valores de NDT, EN y VRF son bajos. El mayor contenido de NDT (68.50%) en R6 encontrado en la presente investigación es menor a los obtenidos por Ribeiro et al. (2002) para ensilaje de girasol (74.02%) y de maíz (72.16%), pero mayor que el de ensilaje de sorgo (63.59%).

El EF no afectó significativamente ($p > 0.05$) las variables relación L/A; niveles de ácidos propiónico, butírico e isobutírico; APE y $\text{NH}_3\text{-N}$ (Cuadro 3); registrándose respectivos promedios de 4.86, 0.09%, 0.69%, 0.08%, 0.61% y 5.75%. En un ensilaje bien fermentado se esperan valores de AL > 3%; AA < 3%; relación L/A de 1.5 a 4; AP < 1%, AB < 0.1; ácidos totales de 5 a 10% y $\text{NH}_3\text{-N}$ de 10 a 15% (Dairy One, 2014). De estos siete criterios evaluativos, el ensilaje de girasol en los estados R6 y R8 presentó condiciones adecuadas según el primero, cuarto y séptimo, pero inadecuados según el quinto al presentar un contenido de ácido butírico en exceso por 0.59 unidades porcentuales.

Romero y Mattera (2008) encontraron, en el cultivar 'Paraíso 33' de Nidera establecido en el año 2006, valores de $\text{NH}_3\text{-N}$ de 18.2% y 5.8% para los estados R6 y R9, respectivamente. Sin embargo, resultados obtenidos en el año 2005, con el cultivar 'Aguará 2' de Advanta, no mostraron diferencias significativas para los mismos estados, siendo 13.1% el promedio. Romero et al. (2009) informan valores de $\text{NH}_3\text{-N}$ para ensilajes en los estados R7 y R9, los cuales superan por 12.46 y 12.86 unidades porcentuales el valor más alto obtenido en la presente investigación (Cuadro 3). Tomich et al. (2004) observaron valores de $\text{NH}_3\text{-N}$ desde 5.9% hasta 14.6% para ensilajes de trece cultivares de girasol producidos al ensilar plantas con más de 90% de granos maduros; por otro lado, en aquel caso el contenido de ácido butírico (0.0 a 0.28%) fue inferior a lo obtenido en el presente estudio.

CUADRO 3.—*Características fermentativas de ensilajes de girasol ('Torino') en dos estados fenológicos.*

Estados fenológicos	pH	%					Ácido isobutírico	Ácidos totales	APE ¹	NH ₃ -N ²
		Ácido láctico	Ácido acético	Láctico/ Acético	Ácido propiónico	Ácido butírico				
R6 ³	3.88 a	12.49 a	2.42 b	5.20 a	0.07 a	0.63 a	15.67 b	0.63 a	5.66 a	
R8 ⁴	4.25 b	7.93 b	1.77 a	4.52 a	0.10 a	0.76 a	10.64 a	0.59 a	5.84a	

¹Amonio proteína equivalente; ²Nitrógeno amoniacal como % del nitrógeno total; ³Antesis completa con flores liguladas marchitas; ⁴Receptáculo completamente amarillo con brácteas verdes.

Dentro de la misma columna promedios seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas (p < 0.05).

Las variables pH, ácido láctico, ácido acético y ácidos totales presentaron diferencias ($p < 0.05$) entre los EF (R6 vs. R8) (Cuadro 3). En el ensilaje de girasol en estado R6 el pH (3.88) fue más bajo mientras las concentraciones de ácido láctico (12.49%), ácido acético (2.42%) y ácidos totales (15.67%) fueron mayores que en R8. Generalmente, los ensilajes con alto contenido de humedad, como los de leguminosas, cumplen con el criterio de pH máximo con valores de hasta 4.20 y 4.30 asociados a contenidos de MS de entre 15 y 20% (Kaiser y Piltz, 2004). De acuerdo a estos criterios, el ensilaje en ambos estados de madurez mostró acidez adecuada (Cuadro 3). Romero y Mattera (2008) registraron promedios de pH de 4.4 y 5.2, no significativamente diferentes para ensilajes de girasol en los estados R6 y R9, respectivamente. Romero et al. (2009) también obtuvieron promedios altos de pH para ensilajes en los estados fenológicos R7 (5.06), R9 (5.58) y MC (8.38). Bajo las condiciones del presente estudio, los dos ensilajes de girasol (R6 y R8) presentaron contenidos satisfactorios de ácidos láctico, acético y totales (Cuadro 3), lo que corrobora el proceso adecuado de fermentación. Los contenidos de ácidos láctico y acético fueron similares a los obtenidos por Tomich et al. (2004) (2.8 a 12.0% AL y 1.5 a 2.5% AA) en ensilajes de 13 cultivares de girasol.

El análisis de las tres variables indicativas de la estabilidad aeróbica (EA) de ensilaje de girasol en dos EF (R6 y R8) no reveló una interacción significativa ($p > 0.05$) entre el EF y el tiempo de exposición, ni un efecto significativo del estado fenológico ($p > 0.05$). Los valores promedio de pH, temperatura y tiempo hasta alcanzar 2° C por encima de la temperatura ambiental fueron de 6.01, 33.32° C y 24.5 horas (Cuadro 4). Según Toruk y Koc (2009), el ensilaje de girasol puede presentar una estabilidad mayor a 48 horas en el estado de inicio de floración y mayor a 72 horas en el estado de fin de floración. En aquel caso los dos EF presentaron una mayor estabilidad que la presente y difirieron significativamente entre sí, a pesar de que el comportamiento del pH, el contenido de MS y el de ácido láctico fueron similares a los del presente estudio (Cuadro 3).

CUADRO 4.—Efecto del estado fenológico sobre la estabilidad aeróbica de ensilaje de girasol en dos estados fenológicos.

Estados fenológicos	pH	Temperatura °C	Estabilidad Aeróbica h
R6 ¹	6.02 a	32.03 a	26 a
R8 ²	6.00 a	34.60 a	23 a

¹Antesis completa con flores liguladas marchitas; ²Receptáculo completamente amarillo con brácteas verdes.

Dentro de la misma columna promedios seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

La baja EA mostrada en el presente estudio puede deberse a que los ensilajes presentaron una fermentación láctica dominante. Piltz y Kaiser (2004) señalan que al comparar ensilajes con fermentación láctica dominante frente a ensilajes con alto contenido de ácidos grasos volátiles (AGV), los primeros pueden ser más susceptibles al deterioro aeróbico. Martínez y De la Roza (1999) plantean que la inestabilidad aeróbica puede deberse también a un bajo contenido de MS, lo cual es característico en el forraje de girasol (Cuadro 1). Los ensilajes evaluados por Toruk y Koc (2009) mostraron un alto valor de $\text{NH}_3\text{-N}$, que pudo contribuir a su mayor tiempo de estabilidad, por sus propiedades antifúngicas (Kung, 2010). Koc et al. (2009) evaluaron ensilaje de girasol con $17.57 \pm 0.75\%$ de MS, cuya temperatura incrementó 6°C por encima de la temperatura ambiental después de cuatro días de exposición aeróbica.

En el presente estudio el ensilaje de girasol mostró un incremento acelerado de temperatura entre las 15 a 37 horas, aproximadamente, de exposición (Figura 1), resultando en un tiempo de estabilidad aeróbica menor a la de ensilajes tradicionales como los de maíz (39 h) y sorgo (43 h) (Tabacco et al., 2011). El largo de tiempo de exposición al aire afectó ($p < 0.05$) la estabilidad del ensilaje de girasol, mostrándose tendencias de aumento en el pH y temperatura, los cuales presentaron diferencias ($p < 0.05$) después del primer día de exposición. Estos cambios rápidos sugieren que el punto crítico cuando empieza el deterioro del ensilaje de girasol ya pasó después de las 24 horas de exposición

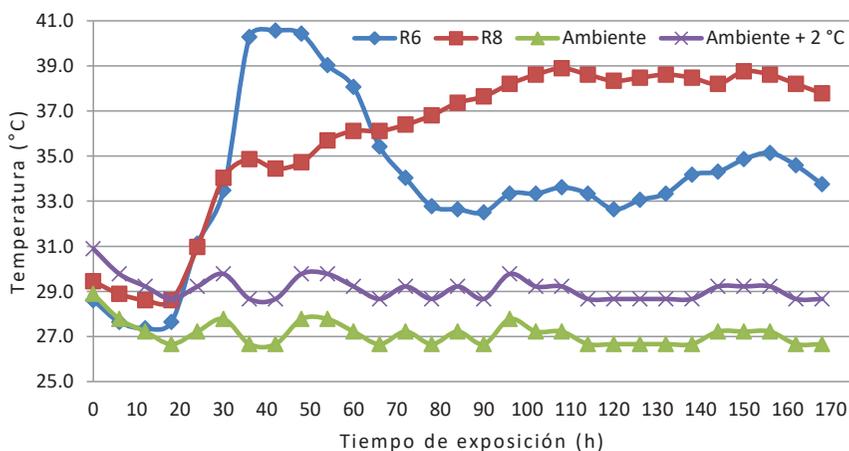


FIGURA 1. Temperaturas durante 168 horas de exposición aeróbica de ensilajes de girasol en los estados fenológicos de antesis completa con flores liguladas marchitas (R6) y receptáculo completamente amarillo con brácteas verdes (R8).

aeróbica (Cuadro 5). Esta tendencia ascendente del pH y la temperatura a través del tiempo concuerda con lo obtenido en evaluaciones con ensilajes de soya (Quijia, 2015) y con lo que ocurre con ensilajes de maíz, caña de azúcar y forrajes tropicales según Mier (2009), Emanuelli (2014) y González y Rodríguez (2003), respectivamente.

CONCLUSIONES

En la evaluación de ensilaje de girasol de los cultivares ‘Torino’ y ‘Camaro II’ en los estados fenológicos R6 y R8 no se detectó un efecto significativo del cultivar ni del estado de madurez del forraje sobre el RMS, pero se registró un incremento significativo del % MS a un mayor estado de madurez. Una mayor edad de cosecha afectó de forma negativa el valor nutricional, por generar un mayor % FND y menores valores estimados de NDT y energía neta, lo cual se refleja en un menor VRF. Los contenidos de FDA y PB observados para los dos estados evaluados representan una calidad aceptable del ensilaje de girasol. El contenido de PB superó al de ensilajes tradicionales (maíz y sorgo), estableciendo al girasol como una alternativa de alto valor proteico.

En cuanto a las características de fermentación del ensilaje, con excepción del contenido de ácido butírico, los parámetros determinados (tanto en R6 como en R8) muestran niveles de acuerdo a lo esperado. Los niveles elevados de ácido butírico pudieran ser resultado del alto contenido de humedad, lo cual es característico del forraje de girasol. Sin embargo, el estado R6 presentó mejores valores de pH y ácido láctico. La EA no se afectó significativamente por el estado fenológico, pero en general el tiempo de estabilidad fue inferior a los típicos de ensilajes de maíz y sorgo. Esta respuesta puede ser atribuida a la fermentación láctica dominante y al alto contenido de humedad de los ensilajes. El forraje de girasol en estado R6 representa una buena alternativa para su conservación en forma de ensilaje.

CUADRO 5.—Efecto del tiempo de exposición al aire sobre la estabilidad aeróbica reflejada por cambios en pH y temperatura de ensilaje de girasol cosechado en dos estados fenológicos.

Tiempo de exposición (días)	pH	Temperatura °C
0	4.08 a	29.04 a
1	4.42 a	31.04 a
3	7.55 c	35.21 b
5	6.61 b	35.50 b
7	7.41	35.78 b

Dentro de la misma columna promedios seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

LITERATURA CITADA

- Abdelhadi, L., 2005. Maíz y Soja, dos RR que se pueden ensilar juntos. *Producir XXI*, Bs.As. 13(166): 41-47.
- Andreo, G.E., H.R. Pagliaricci, y T. Pereyra, 2011. Valor nutritivo e indicadores cualitativos de la fermentación del girasol forrajero para ensilaje. Presentado en XXII Reunión ALPA. Montevideo, Uruguay.
- Clemente, G., 2009. Ensilaje de girasol. Universidad Nacional de Villa María. Córdoba, Argentina.
- Contreras-Govea, F.E., R.E. Muck, K.L. Armstrong, y K.A. Albrecht, 2009. Nutritive value of corn silage in mixture with climbing beans. *Animal Feed Science and Technology* 150: 1-8.
- Dairy One, 2014. Fermentation Analysis & Evaluation. Ithaca, New York. Consultado el 5 de septiembre del 2015. <http://dairyone.com/wp-content/uploads/2014/01/Fermentation-Analysis-Evaluation.pdf>
- Emanuelli, G., 2014. Características fermentativas y estabilidad aeróbica de ensilaje de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y su inclusión en dietas para ovinos. Tesis MSc. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. 75 p.
- García, A., 2006. Alternative forages for dairy cattle: Soybeans and Sunflowers. South Dakota State University. 2 p. http://pubstorage.sdstate.edu/AgBio_Publications/articles/ExEx4023.pdf
- González, G. y A. Rodríguez, 2003. Effect of storage method on fermentation characteristics, aerobic stability, and forage intake of tropical grasses ensiled in round bales. *Journal of Dairy Science* 86: 926-933.
- Hardy, C., 1973. Ensilaje de grano de sorgo con alta humedad. 3. Desaparición de carbohidratos y la producción de ácidos orgánicos y etanol. *Cuban Journal of Agricultural Science* 7(2): 207-212.
- Hazard, S., M. Morales, N. Butendieck, P. Gómez y P. Mardones, 2001. Evaluación de la mezcla ensilaje de maíz con ensilaje de trébol rosado en diferentes proporciones, en la alimentación invernal de vacas lecheras en la Zona Sur. *Agricultura Técnica Chile* 61(3): 306-318.
- Kaiser, A.G. y J.W. Piltz, 2004. Feed testing: assessing silage quality. Kaiser, A., Piltz, J., Burns, H., Griffiths, N. (ed.). *Successful Silage*. Second edition. Dairy Australia and New South Wales Department of Primary Industries: 311-334. http://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0005/294053/successful-silage-topfodder-complete.pdf
- Koc, F., M. Levent Ozduven, L. Coskuntuna, y C. Polant, 2009 The effects of inoculant lactic acid bacteria on the fermentation and aerobic stability of sunflower silage. *Journal Poljoprivreda (Agriculture)* 15(2): 47-52. http://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0005/294053/successful-silage-topfodder-complete.pdf
- Kristensen, N.B., K.H. Sloth, O. Højberg, N. H. Spliid, C. Jensen, y R. Thøgersen, 2010. Effects of microbial inoculants on corn silage fermentation, microbial contents, aerobic stability, and milk production under field conditions. *Journal of Dairy Science* 93: 3764-3774. [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(10\)00396-6/pdf](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(10)00396-6/pdf)
- Kung, L., 2010. Aerobic stability of silage. UC Cooperative Extension, Plant Sciences Department, University of California. <http://alfalfa.ucdavis.edu/symposium/proceedings/2010/10-89.pdf>
- Kung, L., J.R. Robinson, N.K. Ranjit, J.H. Chen, C.M. Gold, y J.D. Pesek, 2000. Microbial populations, fermentation end products, and aerobic stability of corn silage treated with ammonia or a propionic acid-based preservative. *Journal of Dairy Science* 83: 1479-1486.
- Martínez, A. y B. De la Roza, 1999. Calentamiento del ensilaje. *En Tecnología Agroalimentaria*. CIATA, Boletín Informativo, 80 p. <http://www.serida.org/pdfs/2078.pdf>
- Mier, M., 2009. Caracterización del valor nutritivo y estabilidad aeróbica de ensilados en forma de microsilos para maíz forrajero. Universidad de Córdoba. España. 66 p.
- Muñoz, M., W.I. Lugo, C. Santiago, M. Matos, S. Ríos, y J. Lugo, 2018. Taxonomic classification of the soils of Puerto Rico, 2017. Boletín 313. Universidad de Puerto Rico,

- Recinto de Mayagüez. Colegio de Ciencias Agrícolas, Estación Experimental Agrícola. San Juan, Puerto Rico. p.20.
- Oramas, C. y N.J. Vivas, 2007. Evaluación de dos híbridos y una variedad de maíz (*Zea mays*) en monocultivo y en asociación con fríjol (*Phaseolus vulgaris*), para ensilaje. Universidad del Cauca. *Facultad de Ciencias Agropecuarias* 5(1): 34-35.
- Penichet, M., P. Carballo, M. Guerra, y R. Alemán, 2008. El cultivo del girasol como alternativa forrajera viable para la alimentación del ganado vacuno lechero. Observatorio de la Economía Latinoamericana N° 95. 7p. <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/cu/2008/cggp.pdf>
- Pereira, S., G. Flores, A. González, B. Fernández, J. Valladares, N. Díaz, y C. Resch, 2014. Rendimiento y valor nutricional de girasol (*Helianthus annuus* L.) aprovechado para forraje tras la floración. 53ª Reunión Científica de la SEEP. 357-364.
- Piltz, J. y A.G. Kaiser, 2004. Principles of silage preservation. Kaiser, A., J. Piltz, H. Burns, N. Griffiths (ed.). *Successful Silage*. Second edition. Dairy Australia and New South Wales Department of Primary Industries: 25-56 p. http://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0005/294053/successful-silage-topfodder-complete.pdf
- Pirela, M.F., 2005. Manual de ganadería doble propósito: Valor nutritivo de los pastos tropicales. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Venezuela, 176-182 p. http://www.avpa.ula.ve/docuPDFs/libros_online/manual-ganaderia/seccion3/articulo6-s3.pdf
- Quijia, E., 2015. Rendimiento de materia seca, valor nutricional, características de fermentación y estabilidad aeróbica de ensilaje de soya (*Glycine max* L. Merr.) y girasol (*Helianthus annuus*). Tesis MSc. Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez. 120 p.
- Reyes, N., B. Mendieta, T. Fariñas, M. Mena, J. Cardona, y D. Pezo, 2009. Elaboración y utilización de ensilajes en la alimentación del ganado bovino. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Managua, Nicaragua. Manual Técnico No 91. 99 p. <http://orton.catie.ac.cr/REPDOCA2742E/A2742E.PDF>
- Ribeiro, E.L.A., M.A. Rocha, I.Y. Mizubuti, y L.D.F. Silva, 2002. Silagem de girasol (*Helianthus annuus* L.), milho (*Zea mays* L.) e sorgo (*Sorghum bicolor* L.) (Moench) para ovelhas em confinamento. *Ciência Rural* 32(2): 299-302. <http://www.scielo.br/pdf/cr/v32n2/a19v32n2.pdf>
- Ribeiro, L., L. Gonçalves, N. Rodríguez, y T. Tomich, 2007. Ensilaje de girasol como opción forrajera. *Jornada sobre Producción y Utilización de Ensilajes*. Brasil. 31-50.
- Romero, L. y J. Mattera, 2008. Girasol para ensilaje: Producción de forraje y calidad de los ensilajes según el estado fenológico al momento de corte. *Revista Argentina de Producción Animal* 28(1): 349-543.
- Romero, L., J. Mattera, F. Redolfi, y M. Gaggiotti, 2009. Silaje de girasol: Efecto del momento de corte sobre la producción y el valor nutritivo de dos híbridos. *Revista Argentina de Producción Animal* 29(1): 570-571.
- Roth, G.W. y A.J. Heinrichs, 2001. Producción y manejo del ensilaje de maíz. ABT México. Universidad del Estado de Pennsylvania. 11 p.
- SAS (Statistical Analysis System), 2009. SAS User's guide: S.A.S. Institute Inc. Cary NC.
- Tabacco, E., F. Righi, A. Quarantelli y G. Borreani, 2011. Dry matter and nutritional losses during aerobic deterioration of corn and sorghum silages as influenced by different lactic acid bacteria inocula. *Journal of Dairy Science* 94: 1409-1419. [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(11\)00095-6/pdf](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(11)00095-6/pdf)
- Tomich, T.R., L.C. Gonçalves, R.G.P. Tomich, J.A. Rodrigues y I. Borges, 2004. Características químicas e digestibilidad in vitro de silagens de girassol. *Revista Brasileira de Zootecnia* 33(6) (Supl. 1): 1672-1682. <http://www.scielo.br/pdf/rbz/v33n6s1/a05336s1.pdf>
- Toruk, F. y F. Koc, 2009. Effects on silage quality and aerobic stability of different compaction levels in sunflower silage. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 15 (3): 269-275. <http://www.agrojournal.org/15/03-13-09.pdf>
- Vélez, M. y N. Berger, 2011. Producción de forrajes en el trópico. Escuela Agrícola Panamericana. Zamorano Academic Press. Zamorano, Honduras. 151 p.
- Vélez, M., J.J. Hincapié, e I. Matamoros, 2006. Producción de Ganado Lechero en el Trópico. Quinta edición. Zamorano Academic Press. Zamorano, Honduras. 336 p.