

Efecto de la compactación en la calidad nutricional del ensilado de maíz

Effect of compaction on the nutritional quality of corn silage

Eliseo Sosa-Montes² , Sergio Iban Mendoza-Pedroza^{1,2} , Valeria Vázquez-Meraz^{1*} , Ma. Magdalena Crosby-Galván¹ , José Melquiades Monzón-Armenta² 

¹Colegio de Postgraduados, Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad - Ganadería. Carretera México - Texcoco km 36.5, CP. 56264. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México.

²Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Enseñanza, Investigación y Servicio en Zootecnia. Carretera México - Texcoco km 38.5, CP. 56230. Chapingo, Texcoco, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia: valeriamv1402@gmail.com

Artículo científico

Recibido: 28 de marzo 2024

Aceptado: 01 de abril 2025

RESUMEN. Se prepararon ocho micro silos de 4.05 L conteniendo de 2.35 a 3.54 kg de forraje verde (FV) de maíz o 587 a 873 kg FV m⁻³ (182 a 271 kg MS m⁻³), compactación que fue considerada la variable independiente. En el ensilado se midieron las siguientes variables dependientes: humedad (Hum), cenizas (Cen), extracto etéreo (EE), proteína cruda (PC), proteína cruda insoluble en detergente neutro (PCIDN), proteína cruda soluble (PCS), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), hemicelulosas (Hem), celulosa (Cel), lignina (Lig), sílice (Sí), contenido celular (CC) y carbohidratos no fibrosos (CNF). Se obtuvieron ecuaciones de regresión lineales (L) y cuadráticas (C) de las variables dependientes en función de la compactación. Las variables Hum (79.3 a 77.3%, L y C), EE (5.2 a 1.8%, L y C), CC (51.8 a 38.6%, C) y PCS (8.8 a 7.6%, C) disminuyeron ($P < 0.05$) al aumentar la compactación del forraje, mientras que PC (9.2 a 10.6%, L), PCIDN (1.5 a 3.1%, L), FDN (48.2 a 59.4%, C), FDA (30.2 a 40.0%, C) y Sí (0.9 a 2.7%, C) aumentaron ($P < 0.05$). Las variables de mayor solubilidad alcanzaron un máximo a 735 kg FV m⁻³, contrariamente, las variables fibrosas, alcanzaron un mínimo a dicha compactación. Se sugiere compactar el forraje de maíz a 735 kg FV m⁻³ (equivalente a 227 kg MS m⁻³) para lograr ensilados con valores máximos de proteína cruda soluble, extracto etéreo y contenido celular, y con valores mínimos de componentes fibrosos.

Palabras clave: Carbohidratos no fibrosos, composición química, contenido celular, forraje, proteína cruda soluble.

ABSTRACT. Eight 4.05 L micro silos were prepared containing 2.35 to 3.54 kg of corn green fodder (GF) or 587 to 873 kg GF m⁻³ (182 to 271 kg DM m⁻³), compaction that was considered the independent variable. The following dependent variables were measured in the silage: moisture (Mst), ashes (Ash), ether extract (EE), crude protein (CP), neutral detergent insoluble crude protein (NDICP), soluble crude protein (SCP), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (FDA), hemicelluloses (Hem), cellulose (Cell), lignin (Lig), silica (Sil), cell content (CC) and non-fibrous carbohydrates (NFC). Linear (L) and quadratic (Q) regression equations were obtained for the dependent variables as a function of compaction. The variables Mst (79.3 to 77.3%, L and Q), EE (5.2 to 1.8%, L and Q), CC (51.8 to 38.6%, Q) and SCP (8.8 to 7.6%, Q) decreased ($P < 0.05$) with increasing forage compaction, whereas CP (9.2 to 10.6%, L), NDICP (1.5 to 3.1%, L), NDF (48.2 to 59.4%, Q), ADF (30.2 to 40.0%, Q) and Sil (0.9 to 2.7%, Q) increased ($P < 0.05$). The most soluble variables reached a maximum at 735 kg GF m⁻³, while the fibrous variables reached a minimum at this compaction. It is suggested to compact corn green fodder at 735 kg GF m⁻³ (equivalent to 227 kg DM m⁻³) to achieve the maximum values of soluble crude protein, ether extract and cell content, and the minimum values of fibrous components.

Key words: Non-fibrous carbohydrates, chemical composition, cell content, fodder, soluble crude protein.

Como citar: Sosa-Montes E, Mendoza-Pedroza S, Vázquez-Meraz V, Crosby-Galván M, Monzón-Armenta M (2025) Efecto de la compactación en la calidad nutricional del ensilado de maíz. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(1): e4113 DOI: 10.19136/era.a12n1.4113

INTRODUCCIÓN

La fuente más barata para la alimentación de los rumiantes son los forrajes, fuente de nutrientes y fibra, siendo las especies vegetales de la familia Poaceae y Fabaceae las más utilizadas (Tsopgni *et al.* 2023). Pero los problemas asociados al cambio climático afectan de forma negativa el rendimiento y calidad de éstos, principalmente por la escasez de agua y debido a las altas temperaturas (Cuevas-Reyes *et al.* 2024). Este cambio afecta el crecimiento de los forrajes, polinización, llenado del grano y la fotosíntesis, siendo para algunos casos la madurez fisiológica, lo que ocasiona un incremento en los carbohidratos estructurales de la planta y como consecuencia la calidad de los forrajes. La composición nutritiva del forraje de maíz depende del clima de cada región, su valor nutritivo se ve afectado por las altas temperaturas y su mejor calidad depende de una buena compactación (Neumann *et al.* 2024). Algunas características nutricionales se ven afectadas por el estrés ocasionado por altas temperaturas las cuales se ven reflejadas en baja cantidad de componentes solubles y alto contenido de carbohidratos estructurales (Van-Soest *et al.* 2005).

El ensilado de maíz es una alternativa de conservación de forraje que permite preservar el valor nutricional de la planta mediante un proceso anaeróbico, tomando en cuenta factores como tamaño de partícula, compactación, sellado, entre otros, y se logra mayor calidad en el forraje que luego será aprovechado por el animal (Neumann *et al.* 2024). Para alcanzar un buen rendimiento, deben tomarse en cuenta el porcentaje de materia seca (MS) y la densidad de compactación, ya que ambos factores están relacionados con la calidad del ensilado (Krüger *et al.* 2020). Se han realizado muchos trabajos sobre la composición química del forraje y del ensilado de maíz (Zaragoza-Esparza 2019, Toledo *et al.* 2020). En varios trabajos consultados se mide la compactación del ensilado al término del proceso de ensilaje (Wang-Xuzhe *et al.* 2018, Şahin y Tan 2019, Toledo *et al.* 2020), en el presente estudio se midió al inicio ya que la compactación es un punto clave en la calidad del ensilado que debería tomarse en cuenta desde un inicio para evitar pérdidas. Se reportaron relaciones lineales, más no cuadráticas, de las variables químicas en función de la compactación. Al respecto Krüger *et al.* (2020) y Wang-Xuzhe *et al.* (2018), encontraron que al aumentar la compactación en kg MS m^{-3} , las variables Hum, FDA y FDN del ensilado de maíz disminuyeron linealmente y encontraron que los CNF aumentaron linealmente. Probablemente exista un óptimo de compactación para maximizar la calidad del ensilado. Este valor podría obtenerse a partir de relaciones cuadráticas entre la compactación del forraje y las variables químicas del ensilado. Por tanto, el objetivo del presente trabajo fue encontrar dichas relaciones matemáticas, para poder recomendar un grado de compactación del forraje de maíz que produzca el mejor ensilado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El forraje de maíz se obtuvo del sitio experimental denominado el "Horno", del Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo, kilómetro 18.5, carretera Lechería-Texcoco, Chapingo, Texcoco, México, a 19° 29' 11" LN y 98° 53' 48" LO, 2 247 m de altitud.

Siembra y cosecha

A finales de mayo de 2021, se estableció con prácticas convencionales de preparación del suelo, maíz forrajero mexicano originario del municipio de Texcoco, Estado de México (criollo rojo) a 20 cm entre planta, en hileras de 15 m de largo con 0.8 m de distancia entre surcos, a los 14 y 45 días después de la siembra (DDS) se aplicó 150-66-20 kg de NPK ha⁻¹, con fertilizadora F600. Se realizó una escarda a los 30 DDS y un aporque a los 45 días. A los 30 y 37 DDS, se realizaron dos aplicaciones de cipermetrina contra el gusano cogollero. Se aplicó composta a razón de 10 t ha⁻¹. El control de malezas fue de manera manual a los 25 DDS. La Cosecha se llevó a cabo cuando el grano se encontraba en estado lechoso-masoso y se seleccionaron 36 plantas al azar las cuales fueron cosechadas de forma manual para posteriormente ensilarlas.

Elaboración de micro silos y obtención de muestras

Una vez cosechadas las 36 plantas, se picaron de forma uniforme con un machete a una longitud de 3 cm aproximadamente. El forraje picado se introdujo en micro silos elaborados de tubos de PVC de 4 pulgadas (10.16 cm de diámetro) y 50 cm de longitud. Se compactó de manera manual con un mazo de madera a seis diferentes densidades (581.1, 678.4, 685.8, 779.3, 799.3 y 873.3 kg m⁻³) y los silos fueron sellados con bolsas de plástico negro resistentes ajustadas con alambre negro recocido. A los cinco meses de iniciado el proceso de ensilaje, se abrieron los micro silos para realizar la toma de muestras y se obtuvieron 400 g de ensilado de la parte media de cada tubo para luego secarlas a 55 °C en estufa de aire forzado.

A las muestras se les determinó el contenido de materia seca (MS), proteína cruda (PC), proteína cruda soluble (PCS), extracto etéreo (EE), cenizas (Cen) y carbohidratos no fibrosos (CNF) de acuerdo con las metodologías de la AOAC (2012); porcentaje de fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), hemicelulosa (Hem), lignina (Lig) y proteína cruda insoluble en detergente neutro (PCIDN), siguiendo las metodologías descritas por Mertens (2002) y Van-Soest *et al.* (1991).

Análisis estadísticos

Con ayuda del programa SAS, se realizó un análisis de varianza y un análisis de regresión de las variables dependientes en función de la compactación (independiente). Las medias de las variables respuesta o dependientes fueron separadas por medio de la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Las ecuaciones de regresión cuadráticas significativas ($P < 0.05$) se derivaron para obtener los máximos y mínimos de las variables dependientes.

RESULTADOS

Las densidades obtenidas de compactación del forraje de maíz se encontraron en un rango de 182 a 271 kg MS m⁻³ (Tabla 1). Las variables Hum, FDN, FDA y Síl mostraron un comportamiento convexo, cuyos valores mínimos se observan en las Figuras 1 y 2. Lo importante de estos mínimos es que, a menor valor de estas variables, es mejor la calidad del ensilado. Por otra parte, las variables CC, PCS y EE mostraron un comportamiento cóncavo (Figuras 1 y 3) por lo que sus valores máximos son de importancia para obtener una alta calidad del ensilado.

Tabla 1. Variables dependientes del ensilado de maíz a diferentes densidades de compactación del forraje verde (kg m^{-3}).

Variables dependientes (%)	Densidades de compactación (kg m^{-3}) en base seca (BS) y húmeda (BH)						
	BH	587.1	678.4	685.8	779.5	799.3	873.3
	BS	182.0	210.3	212.6	241.6	247.8	270.7
Hum		79.3 ^a	77.4 ^{ab}	76.5 ^b	76.7 ^b	77.4 ^{ab}	77.3 ^{ab}
Cen		7.3	6.9	7.3	6.8	7.7	7.8
PC		9.6	10.0	10.5	9.9	10.1	10.4
PCIDN		1.9	2.1	1.7	2.1	2.1	2.8
EE		3.6 ^b	5.2 ^a	3.2 ^{ab}	3.4 ^{ab}	3.2 ^{ab}	1.8 ^c
FDA		39.1 ^{ab}	35.8 ^{abc}	32.3 ^{bc}	40.0 ^a	30.2 ^c	40.0 ^a
FDN		48.2	50.3	55.2	56.4	57.4	59.4
Hem		17.3	12.4	18.0	17.4	25.0	19.4
Cel		28.6 ^{ab}	26.3 ^{ab}	26.5 ^{ab}	29.9 ^a	23.5 ^b	30.4 ^a
Síl		1.9	2.0	0.9	1.6	1.6	2.7
Lig		12.0 ^a	11.2 ^{ab}	6.6 ^b	11.8 ^{ab}	7.8 ^{ab}	11.2 ^{ab}
CC		43.6	51.8	49.7	42.6	44.8	40.6
CNF		26.9	33.7	31.4	26.2	27.6	26.1
PCS		7.7	7.9	8.8	7.8	8.0	7.6

Letras distintas en un mismo renglón, indican diferencias significativas (Tukey, $P < 0.05$). Todas las variables dependientes, excepto Hum se expresan como porcentaje en base seca. Hum: humedad en base tal como se ofrece, Cen; cenizas, PC: proteína cruda, PCIDN: proteína cruda insoluble en detergente neutro, EE: extracto etéreo, FDA: fibra detergente ácido, FDN: fibra detergente neutro, Hem: hemicelulosa, Cel: celulosa, Síl: sílice, Lig: lignina, CC: contenido celular, CNF: carbohidratos no fibrosos, PCS: proteína cruda soluble.

Las ecuaciones más importantes de la Tabla 2 son aquellas que maximizan los componentes solubles (CC, PCS y EE), y que minimizan la Hum y los componentes fibrosos (FDN, FDA y Síl). Con las ecuaciones lineales de PC y PCIDN en función de la compactación (Tabla 1) no es posible establecer un máximo o un mínimo, sin embargo, dado que son significativas ($P < 0.05$) sirven para calcular sus valores en el rango de compactaciones estudiado.

De acuerdo con la ecuación octava de la Tabla 2, la PC aumenta al aumentar la compactación, sin embargo, no es conveniente que aumente demasiado porque aumentaría también la PCIDN (ecuación novena de la Tabla 2). Ahí radica la importancia de la ecuación cuadrática de la PCS (ecuación sexta de la Tabla 2), ya que permite obtener el valor de la compactación que maximiza la PCS y los correspondientes valores de PC y PCIDN. Estos valores, a compactación de 735 kg m^{-3} de forraje verde fueron: PCS: 6.47%, PC: 10.03% y PCIDN: 2.17%.

Los máximos o mínimos de las ecuaciones con R^2 mayor de 0.5 se promediaron para recomendar una compactación de 735 kg m^{-3} de forraje verde, si se promedian todos los valores de la columna derecha de la Tabla 2, resulta una compactación de 700 kg m^{-3} de forraje verde de maíz. Se recomienda la primera compactación para elevar el contenido de proteína cruda del ensilado.

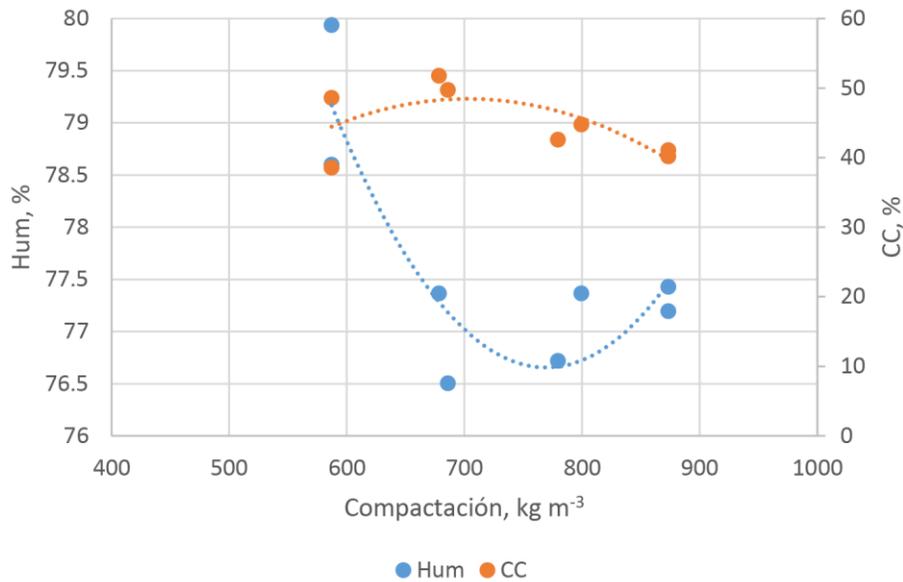


Figura 1. Al día 14 y 45 cuadráticas significativas ($P < 0.05$) entre humedad (Hum) y contenido celular (CC) como variables dependientes (%) en función de la densidad de compactación del forraje verde de maíz. (kg m^{-3}). La gráfica inferior de Hum es cóncava, la superior de CC es cóncava.

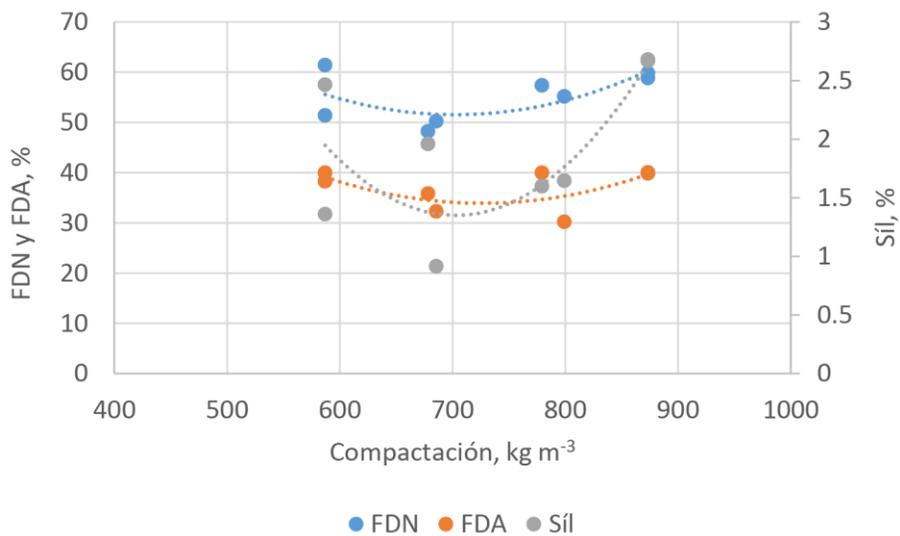


Figura 2. Relaciones cuadráticas convexas significativas ($P < 0.05$) entre fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y sílice (Sí) como variables dependientes (%) en función de la densidad de compactación del forraje verde de maíz (kg m^{-3}). Las tres gráficas son convexas.

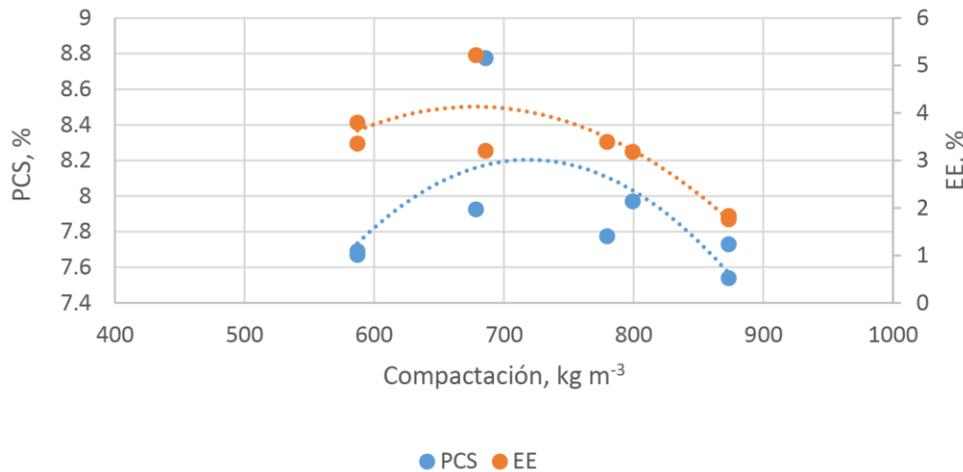


Figura 3. Relaciones cuadráticas significativas ($P < 0.05$) entre proteína cruda soluble (PCS) y extracto etéreo (EE) como variables dependientes (%) en función de la densidad de compactación del forraje verde de maíz (kg m^{-3}). Ambas gráficas son cóncavas.

Tabla 2. Ecuaciones de regresión significativas ($P < 0.05$) de las variables dependientes (%) en función de la densidad de compactación del forraje verde de maíz (kg m^{-3}). Los máximos y mínimos se obtuvieron igualando a cero la primera derivada y despejando la variable independiente.

Variables dependientes	R ²	R	Ecuaciones de regresión	Máximo o mínimo (kg m^{-3})
Hum	0.7849	0.8859	$Y = 8 \cdot 10^{-5} X^2 - 0.1161X + 121.32$	725.6
FDN	0.4852	0.6966	$Y = 3 \cdot 10^{-4} X^2 - 0.4215X + 199.63$	702.5
FDA	0.4187	0.6471	$Y = 3 \cdot 10^{-4} X^2 - 0.3882X + 174.88$	647.0
Síl	0.6020	0.7759	$Y = 4 \cdot 10^{-5} X^2 - 0.0626X + 23.335$	782.5
CC	0.4852	0.6966	$Y = -3 \cdot 10^{-4} X^2 + 0.4215X + 99.628$	702.5
PCS	0.4584	0.6771	$Y = -3 \cdot 10^{-5} X^2 + 0.0386X - 5.6901$	643.3
EE	0.7453	0.8633	$Y = -6 \cdot 10^{-5} X^2 + 0.0836X - 24.175$	696.7
PC	0.3816	0.6177	$Y = 0.0027X + 8.0418$	No aplica
PCIDN	0.5033	0.7094	$Y = 0.0029X + 0.0389$	No aplica

Variables dependientes: Hum: humedad en base tal como se ofrece, Cen; cenizas, PC: proteína cruda, PCIDN: proteína cruda insoluble en detergente neutro, EE: extracto etéreo, FDA: fibra detergente ácido, FDN: fibra detergente neutro, Hem: hemicelulosa, Cel: celulosa, Síl: sílice, Lig: lignina, CC: contenido celular, CNF: carbohidratos no fibrosos, PCS: proteína cruda soluble.

Las Figuras 1 y 2, muestran las relaciones cuadráticas convexas significativas. Las variables Hum, FDN, FDA y Síl disminuyeron cuadráticamente ($P < 0.05$) al aumentar la compactación, posteriormente aumentaron, lo cual permitió calcular un valor mínimo de estas variables asociadas a la fibra. En cada ecuación, ambos coeficientes de regresión (lineal y cuadrático) fueron estadísticamente distintos de cero y también lo fue el término constante ($P < 0.05$).

Las Figuras 1 y 3, muestran las relaciones cuadráticas cóncavas significativas. Las variables CC, PCS y EE aumentaron cuadráticamente ($P < 0.05$) al aumentar la compactación, posteriormente disminuyeron, lo cual permitió calcular un valor máximo de estas variables de alto contenido nutricional. En cada ecuación, ambos coeficientes de regresión (lineal y cuadrático) fueron estadísticamente distintos de cero y también lo fue el término constante ($P < 0.05$).

La Figura 4, muestra las relaciones lineales significativas. Las variables PC y PCIDN aumentaron al aumentar la compactación. Estas variables no mostraron relaciones cuadráticas significativas, por lo que con ellas no fue posible obtener ni máximos ni mínimos. Posiblemente alcancen un máximo a mayor compactación, lo cual no se observó en el presente estudio. En estas ecuaciones, el coeficiente lineal fue estadísticamente significativo y también lo fue el término constante ($P < 0.05$).

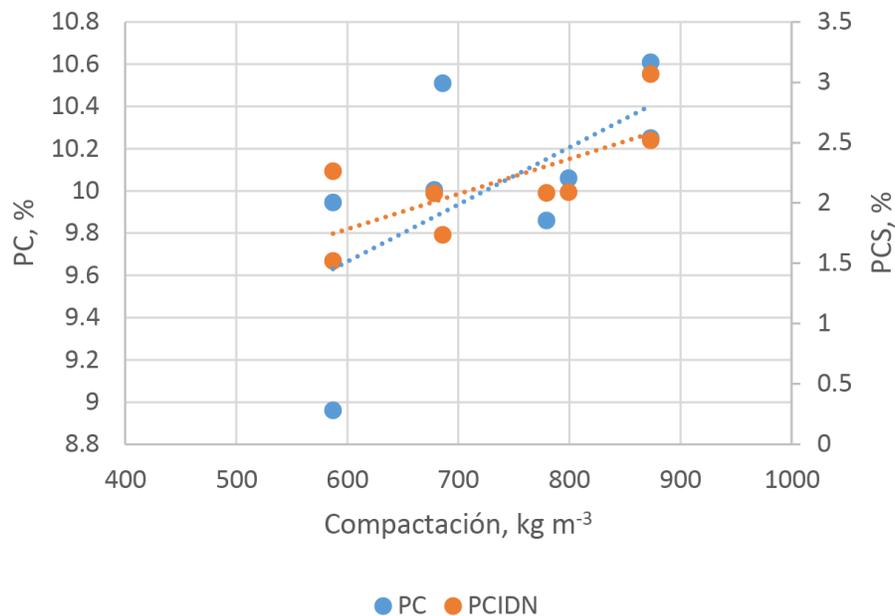


Figura 4. Relaciones lineales significativas ($P < 0.05$) entre proteína cruda (PC) y proteína cruda insoluble en detergente neutro (PCIDN) como variables dependientes (%) en función de la densidad de compactación del forraje de maíz (kg m^{-3}).

DISCUSIÓN

Las densidades obtenidas de compactación del forraje de maíz (182.0 a $270.7 \text{ kg MS m}^{-3}$) fueron superiores al rango de 73 a 130 kg MS m^{-3} , reportado por Gómez-Rodríguez *et al.* (2017). Cuando la densidad es baja, hay bastante agua (humedad elevada) en el ensilado, misma que disminuye

por la compactación que la expulsa. Simultáneamente el oxígeno del aire favorece el metabolismo aeróbico (Toledo *et al.* 2020) que disminuye los valores de Hum, FDN, FDA y Síl (parte decreciente de las funciones convexas), por lo que aumentan CC, EE y PCS (parte creciente de las funciones cóncavas).

Cuando el peso de los micro silos es bajo, hay bastante agua (Hum elevada) en el ensilado, misma que disminuye por la compactación. Lo importante de estos mínimos es que, a menor valor de estas variables, es mejor la calidad del ensilado (Tsopgni *et al.* 2023). Simultáneamente el oxígeno del aire favorece el metabolismo aeróbico (Toledo *et al.* 2020) que disminuye los valores de Hum, FDN, FDA y Síl y aumenta los de CC, EE y PCS, como en la parte inicial de las gráficas correspondientes (Figuras 2 y 3). Las variables PC y PCIDN aumentaron linealmente al aumentar el grado de compactación (Figura 4). El efecto de la compactación consistió en solubilizar una parte de la PC que alcanza un máximo como PCS a la compactación intermedia de 227 kg MS m⁻³ o 735 kg FV m⁻³ (Figura 2). Con una compactación adecuada del forraje de maíz, no se reduce el contenido de proteína cruda del ensilado (Neumann *et al.* 2024). Esto concuerda con García-Chávez *et al.* (2022) quienes mencionan que un buen forraje de maíz debería tener más del 7% de PC.

Si la densidad en los micro silos es elevada, se expulsa el aire y se forma un ambiente benéfico para las bacterias lácticas (Krüger *et al.* 2017) que proliferan disminuyendo el CC, EE y PCS (parte decreciente de las funciones cóncavas), aumentando los valores de FDN y FDA (parte creciente de las funciones convexas). Al respecto Hentz *et al.* (2017) encontraron que el EE aumenta y los CNF disminuyeron linealmente al aumentar el grado de compactación del ensilado de maíz. En consecuencia, a la compactación intermedia es máxima la calidad del ensilado, ya que Hum es baja, es decir, MS es alta, FDN, FDA y Síl, son bajas y CC, EE y PCS son máximos. Los resultados de la literatura no coinciden entre sí, ni con los de este trabajo, por tanto, se sugiere seguir indagando el nivel óptimo de compactación de los ensilados de maíz, a fin de darle solución a las discrepancias encontradas. Las densidades reportadas por Wang Xuzhe *et al.* (2018) variaron de 350 a 700 kg FV m⁻³, estos autores sugieren un óptimo de estabilidad a 600 kg FV m⁻³, mientras que en la presente investigación se recomienda un óptimo de 735 kg FV m⁻³.

CONCLUSIONES

La mejor calidad del ensilado de maíz fue cuando se compacta a 735 kg FV m⁻³ (equivalente a 227 kg MS m⁻³). Controlar la compactación durante el proceso de ensilaje es esencial ya que es punto clave para garantizar un forraje de alta calidad.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Recursos Genéticos y Productividad del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados y al Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo por las facilidades brindadas para realizar la presente investigación y a la Línea de Generación y/o

Aplicación del Conocimiento: "Ganadería eficiente, bienestar sustentable y cambio climático" (PREGEP-Ganadería, Campus Montecillo) del Colegio de Postgraduados.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen conflictos de interés relacionados con la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- AOAC (2012) Official Methods of Analysis. 19th Edition. Association of Official Analytical Chemists. Gaithersburg, Maryland, USA. Chapter 4: 1-44.
- Cuevas-Reyes V, Meza AL, Gutiérrez OGG, Bravo MB, Rosales-Nieto CA (2024) Tipología de productor y efectos indirectos del cambio climático en la ganadería bovina en Sinaloa. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 15(3): 555-569. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i3.6529>
- García-Chávez I, Meraz-Romero E, Castelán-Ortega O, Zaragoza-Esparza J, Osorio-Avalos J, Robles-Jiménez LE, González-Ronquillo M (2022) Corn silage, a systematic review of the quality and yield in different regions around the world. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 23(3). https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num3_art:2547
- Gómez-Rodríguez VM, Heredia ND, Ramírez VH, García MA, Olmos CJ de J (2017) Diagnóstico de la calidad de los ensilados de maíz en los Altos de Jalisco. In: Cavallotti-Vazquez BA, Cesín-Vargas JA, Ramirez-Valverde B (coords) Estudios sociales y económicos de la producción pecuaria. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Estado de México. pp. 79-88.
- Hentz F, Pedro-Velho J, Laerte-Nörnberg J, Pereira-Haygert V, Lone M, Henz-Éderson L, Dionísio-Henn J, Peripolli V, Bernardi-Zardin P (2017) Fracionamento dos carboidratos e dos constituintes nitrogenados de silagens de milho safrinha ensiladas com diferentes massas. *Ciencias Agrarias* 38(1): 491-501.
- Hutnik E, Kobiela S (2012) Density of silage stored in horizontal silos. *Acta Agrophysica* 19(3): 539-549.
- Krüger AM, Jobim CC, de Carvalho IQ, Moro JG (2017) A simple method for determining maize silage density on farms. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales* 5(2): 94-99. [https://doi.org/10.17138/tgft\(5\)94-99](https://doi.org/10.17138/tgft(5)94-99)
- Krüger AM, Lima PMT, Abdalla FAL, Moro JG, de Carvalho IQ, Abdalla AL, Jobim CC (2020) Dry matter concentration and corn silage density: Effects on forage quality. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales* 8(1): 20-27. [https://doi.org/10.17138/tgft\(8\)20-27](https://doi.org/10.17138/tgft(8)20-27)
- Mertens D, Allen M, Carmany J, Clegg J, Davidowicz A, Drouches M, Frank K, Gambin D, Garkie M, Gildemeister B, Jeffress D, Jeon CS, Jones D, Kaplan D, Kim GN, Kobata S, Main D, Moua X, Paul B, Wolf M (2002) Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: Collaborative study. *Journal of AOAC International* 85: 1217-1240.
- Neumann M, Baldissera E, Ienke LA, De-Souza AM, De-Oliveira PEP, Bumbieris VH (2024) Nutritional value evaluation of corn silage from different mesoregions of Southern Brazil. *Agriculture* 14(7): 1055. <https://doi.org/10.3390/agriculture14071055>
- NRC (2016) National Research Council. National Academy of Science, Nutrient Requirements of beef cattle. Committee of Nutrient Requirements of beef cattle. Eight editions. Washington DC. National Academy Press. 475p. <https://doi.org/10.17226/19014>
- Şahin M, Tan F (2019) Examination of the measurement methods used to determine the silage density in small farm. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi* 17: 744-749.

- Toledo EA, Pertile SFN, Sifuentes-dos-Santos J, Barreto JVP, Banchemo G, Dos-Santos MD, Venancio RL, Ribeiro ELA, Zamboti M, Zundt M (2020) Does compaction degree and particle size influence bromatological composition and mycotoxin levels in corn silage? *Scientia Plena* 16(7): 070207 - 1. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2020.070207>
- Tsopgni LT, Lemoufouet J, Meutchieye F, Nounamo LWE, Kondo CN, Kana JR Mouchili M, Feudjio BA (2023) Nutritive value of forages consumed by ruminants during the dry season in the Western Highlands of Cameroon. *Grassland Research* 2(2): 112-119. <https://doi.org/10.1002/glr2.12051>
- Van-Soest PJ, Robertson B, Lewis BA (1991) Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3597. [http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Wang X, Zhang F, Ma C, Li F, Wang S (2018) Effect of compaction on nutritional quality and aerobic stability of silage corn after opening silos *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* 34(6): 300-306. <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2018.06.038shu>
- Zaragoza-Esparza J, Tadeo-Robledo M, Espinosa-Calderón A, López-López C, García-Espinosa JC, Zamudio-González B, Turrent-Fernández A, Rosado-Núñez F (2019) Rendimiento y calidad de forraje de híbridos de maíz en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10(1): 101-111. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1403>