



RENDIMIENTO Y CALIDAD NUTRICIONAL DE HÍBRIDOS PUMA Y EFECTOS PRODUCTIVOS EN OVEJAS †

[PERFORMANCE AND NUTRITIONAL QUALITY OF PUMA HYBRIDS AND PRODUCTION EFFECTS IN SHEEP]

Laura Castillo-Hernández¹, Angélica Terrazas-García^{1*},
Margarita Tadeo-Robledo¹, Julieta Gertrudis Estrada-Flores²,
Alejandro Espinosa-Calderon³, Axel Castillo-Hernández¹,
Jesús Macedo-González¹, Jesús Jonathan Ramírez-Espinosa¹
and Joob Zaragoza Esparza^{1*}

¹Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Departamentos de Ciencias Pecuarias y Agrícolas, Carretera Cuautitlán-Teoloyucan km 2.5, San Sebastian Xhala, Cuautitlán Izcalli, CP. 54714, Estado de México, México. Email: garciate@unam.mx*, jzaragozaseccionprod@gmail.com*

²Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Campus "El Cerrillo Piedras Blancas, C.P. 50090 Toluca de Lerdo, Estado de México, México.

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de México, Carretera Los Reyes-Textcoco km 13.5, Coatlinchán, Textcoco, CP. 56250, Estado de México, México.

*Corresponding authors

SUMMARY

Background: Due to climate change, forage production conditions are unstable, which makes it necessary to have corn varieties that are resistant to climate variations, as well as to the different types of soil that prevail in certain regions, as is the case of Puma hybrids developed by UNAM and INIFAP. It is also important to explore their yield and potential as animal feed. **Objective:** To determine the agricultural yield, nutritional quality and in vitro fermentation kinetics of Puma corn hybrids and their impact on some productive indicators in pregnant sheep. **Methodology:** The plant components: leaf, stem and cob of the corn hybrids, Tlaoli Puma, Tsiri Puma and Centli Puma, were evaluated to determine the yield in green matter and dry matter, percentage of dry matter, percentage of protein, neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF). As well as the gas production and in vitro digestibility of the corn hybrids and the effect on weight and body condition changes, and the concentrations of glucose and β hydroxybutyrate, of sheep fed diets containing silages of these hybrids in the second half of gestation. **Results:** The yield of green matter and dry matter, as well as the percentage of dry matter were similar in the three Puma corn hybrids ($P > 0.05$). Tlaoli Puma and Centli Puma hybrids had the highest leaf percentages ($P < 0.05$), while in the percentages of stem and cob no differences were found among the three hybrids ($P > 0.05$). The crude protein content was similar among the Puma hybrids ($P > 0.05$). The change in weight and body condition, as well as the levels of glucose and β hydroxybutyrate of the sheep did not differ among the Puma hybrids ($P > 0.05$). No significant differences were observed in the insoluble fraction in the three plant components of the Puma hybrids. In vitro digestibility of dry matter, organic matter and in vitro digestibility of neutral detergent fiber did not vary among Puma hybrids, nor among plant components. **Implications:** The three Puma hybrids showed good forage yields, as well as nutritional quality and digestibility, which was reflected in good productive parameters of sheep, indicating that they can be used in nutritional strategies for ruminants. **Conclusions:** The Puma hybrids show similar performance, nutritional quality, gas production and in vitro digestibility independent of the plant components (leaf, stem and cob), which favors the productive and metabolic state of pregnant sheep fed with diets containing these silages. **Key words:** *Zea mays*; silage; in vitro; digestibility; protein; cob.

† Submitted June 20, 2024 – Accepted November 7, 2024. <http://doi.org/10.56369/tsaes.5695>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
ISSN: 1870-0462.

RESUMEN

Antecedentes: Con el cambio climático las condiciones de producción forrajera son inestables lo que hace necesario tener variedades de maíz resistentes a las variaciones del clima, así como a los distintos tipos de suelo que imperen en ciertas regiones, como es el caso de los híbridos Puma desarrollados por la UNAM y el INIFAP. Además, es importante explorar su rendimiento y potencial para la alimentación animal. **Objetivo:** Determinar el rendimiento agrícola, la calidad nutricional y cinética de fermentación *in vitro* de híbridos de maíz Puma y su impacto en algunos indicadores productivos en ovejas gestantes. **Metodología:** Se evaluaron los componentes de la planta: hoja, tallo y mazorca de los híbridos de maíz, Tlaoli Puma, Tsiri Puma y Centli Puma, para determinar el rendimiento en materia verde y materia seca, porcentaje de materia seca, porcentaje de proteína, fibra detergente neutro (FDN) y fibra ácido detergente (FAD). Así como la producción de gas y digestibilidad *in vitro* de los híbridos de maíz y el efecto sobre los cambios de peso y de condición corporal, y las concentraciones de glucosa y β hidroxibutirato, de ovejas alimentadas con dietas que contenían ensilados de estos híbridos en la segunda mitad de la gestación. **Resultados:** El rendimiento de materia verde y de materia seca, así como el porcentaje de materia seca fueron similares en los tres híbridos de maíz Puma ($P > 0.05$). Los híbridos Tlaoli Puma y Centli Puma presentaron los mayores porcentajes de hoja ($P < 0.05$), mientras que en los porcentajes de tallo y mazorca no se encontraron diferencias entre los tres híbridos ($P > 0.05$). El contenido de proteína cruda fue similar entre los híbridos Puma ($P > 0.05$). El cambio de peso y condición corporal, así como los niveles de glucosa y β hidroxibutirato de las ovejas no difirió entre los híbridos Puma ($P > 0.05$). No se observaron diferencias significativas en la fracción insoluble en los tres componentes de la planta de los híbridos Puma. La digestibilidad *in vitro* de la materia seca, la materia orgánica y la digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro no variaron entre los híbridos Puma, ni entre los componentes de la planta. **Implicaciones:** Los tres híbridos Puma mostraron tener buenos rendimientos forrajeros, así como calidad nutricional y digestibilidad lo que se vio reflejado en buenos parámetros productivos de ovejas, lo cual indica que pueden ser utilizados en estrategias nutricionales de rumiantes. **Conclusiones:** Los híbridos Puma muestran similares rendimientos, calidad nutricional, producción de gas y digestibilidad *in vitro* independiente de los componentes de la planta (hoja, tallo y mazorca), lo cual favorece el estado productivo y metabólico de ovejas gestantes, alimentadas con dietas que contengan estos ensilados.

Palabras clave: *Zea mays*; ensilado; digestibilidad *in vitro*; proteína; mazorca.

INTRODUCCIÓN

El maíz es de los cultivos más utilizados como forraje en la dieta de los rumiantes debido a su aporte nutricional, productividad, además que favorece el desarrollo acelerado del rumen (Radchikov *et al.*, 2022; Indriani *et al.*, 2021). En México se reportó que la producción de maíz forrajero en verde fue de 17 millones de toneladas lo cual representó un valor de 14.7 millones de pesos (SIAP 2022). A pesar de que el maíz se ha adaptado a diversas condiciones climáticas, es necesario que tenga las mejores condiciones para que su desarrollo sea el adecuado y esto dependerá de diversos factores como el tipo de suelo, precipitación pluvial, radiación solar, temperatura y altitud (Ruiz *et al.*, 2013). Por lo tanto, el uso de variedades híbridas de maíz que posean genotipos que pueden mantener respuestas estables ante diversos ambientes, permitirá a este cultivo enfrentarse a variaciones en los factores mencionados (Martínez *et al.*, 2018; Indriani *et al.*, 2021).

En México se han generado diversos híbridos de maíz con características agronómicas deseables, como la androesterilidad génica citoplasmática que facilita la producción de semillas (Tadeo *et al.*, 2021) y por ende la disminución de los costos. En general los híbridos de maíz se han desarrollado para la producción de grano, como las variedades Tlaoli Puma o Tsiri Puma para Valles Altos de México (Tadeo *et al.*, 2016), sin embargo, se ha explorado poco en su potencial para la alimentación de los animales.

Es importante recalcar que en la actualidad debido al incremento en la población humana hay un aumento en la demanda de productos de origen animal, por otro lado, la poca disponibilidad de áreas cultivables o para uso ganadero están ocasionando que los métodos tradicionales de producción ganadera vayan quedando obsoletos e insostenibles (Du *et al.*, 2023). Lo cual hace necesario eficientizar la producción de recursos forrajeros, diversificando el origen para la alimentación animal y aprovechando al máximo cultivos que cotidianamente se usan para la alimentación humana, pero que podrían también ser útiles y sostenibles en la alimentación animal.

Por otra parte, una de las limitantes en la producción animal es la baja disponibilidad de forrajes en la época de sequía y en algunos casos con un valor nutritivo muy bajo, por lo que se han empleado diversas estrategias para incrementar tanto la disponibilidad como la calidad, y una de ellas es la conservación de forrajes mediante el ensilaje (Meneses *et al.*, 2023). Los híbridos de maíz Puma han evidenciado potencial para ser usados como ensilados debido a que han presentado buenos valores de digestibilidad (67% para para Tsiri Puma y Tlaoli Puma) y contenido de proteína cruda (9.6 % y 9.7%, respectivamente; Velasco *et al.*, 2022).

Los híbridos Puma poseen características sobresalientes, en cuanto a producción y contenido de nutrientes, se ha reportado que su uso como ensilado

ayuda a mejorar el peso, la condición corporal y el balance energético en ovejas durante la segunda mitad de la gestación y la lactancia temprana (Castillo-Hernández *et al.*, 2024). Ahora bien, dependiendo de los componentes de las plantas se podrían encontrar variaciones en dichas características (Camarasa y Barletta, 2019), diversos estudios que refieren al rendimiento y calidad nutricional están estrechamente relacionados con la cantidad de los componentes de la planta, es decir, el desarrollo de los tallos, hojas y mazorcas (Camarasa y Barletta; Sah *et al.*, 2020; Zeynep *et al.*, 2021). Por ello, el objetivo de este estudio fue determinar el rendimiento y la calidad nutricional del forraje, así como y la cinética de fermentación ruminal *in vitro* de los híbridos Puma y su impacto en la productividad de ovejas gestantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

El estudio se realizó en las parcelas pertenecientes al Centro de Enseñanza Agropecuaria de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, U.N.A.M. localizada en el Altiplano Central de México en las coordenadas 19°31'35" L.N. y 99°11'42" L.O, a una altitud de 2256 msnm. Con clima tipo C(w0) (w)b(i)g, que corresponde a templado subhúmedo con invierno seco y lluvias en verano, con precipitación pluvial promedio de 600 mm anuales y temperatura media anual de 15.7 °C, (SMN, 2023).

Siembra de los híbridos de maíz, manejo agronómico y cosecha

Los cultivos fueron establecidos en primavera - verano del 2020, y se manejaron en condiciones de temporal. Se usaron tres híbridos de maíz, Centli Puma, Tlaoli Puma y Tsiri Puma que están adaptados a condiciones de los Valles Altos de México.

Se establecieron dos experimentos, en el primero la siembra se realizó el 5 de junio, a tapa pie depositando tres semillas por mata a una distancia de aproximadamente 15 cm, a los 30 días posteriores a la siembra se aclareo y se dejaron 32 plantas por cada surco de 5 m (correspondiente a cada unidad experimental), para establecer una densidad de 80 000 plantas ha⁻¹. Simultáneamente se hizo el segundo experimento que consistió en la siembra de cada uno de los híbridos, en una superficie de 2000 m², siendo el tamaño total de la parcela de 6000 m², se utilizó una sembradora marca John Deere, modelo MP – 25, previamente calibrada, se estableció una población aproximada de 80 000 plantas ha⁻¹. La fertilización se realizó al momento de la siembra con una dosis 80 – 60 – 00 de N P K, el 8 de junio fueron regados los dos experimentos. El control de malezas se realizó a los 10 días posteriores al riego, para lo cual se aplicó el

herbicida Lumax Gold C, el cual contiene tres ingredientes activos: s-metolaclor, atrazina y mesotrione. La cosecha de los híbridos se realizó a los 120 días posteriores a la siembra.

Determinación de rendimiento en materia verde, materia seca y porcentaje de materia seca

La materia verde se determinó por hectárea a partir de la cosecha de todas las plantas del surco perteneciente a cada unidad experimental. La materia seca se calculó a partir del rendimiento de materia verde y del porcentaje de materia seca. El porcentaje de materia seca se estableció por medio de una muestra de materia verde que se colocó en un horno de convección forzada hasta que alcanzó peso constante, para cada unidad experimental, se pesó y se dividió entre su peso en materia verde y se multiplicó por cien (Zaragoza *et al.*, 2019). Estas determinaciones se hicieron para cada componente de la planta: mazorca, hoja y tallo.

Determinación de porcentaje de proteína, de Fibra Detergente Neutro y de Fibra Detergente Ácido de cada componente de la planta

El contenido de proteína se determinó a partir del procedimiento Micro Kjeldahl, (AOAC, 2012; Zaragoza *et al.*, 2019). Mientras que para la determinación de fibra detergente neutro y fibra detergente ácido de se utilizó la metodología Van Soest (1991).

Determinación de cinética de fermentación ruminal (PGIV) y digestibilidad (DIV) de cada componente de la planta

Se determinó la cinética de fermentación ruminal del forraje mediante la técnica de producción de gas *in vitro* (PGIV) (Theodorou *et al.*, 1994), se recolectó líquido ruminal de ovinos mediante la técnica de sondeo esofágico, a los cuales se les ofreció una dieta compuesta de 80% forraje y 20% de concentrado comercial dos veces al día. Se pesaron muestras de aproximadamente 990 mg de los forrajes dentro de botellas con tapa de crimpado de 160 ml, se les adicionó una mezcla de 90 ml de solución amortiguadora y 10 ml de líquido ruminal en una proporción de 9:1 (vol./vol.) e incubadas a 39°C. Cada muestra fue analizada por cuadruplicado donde las incubaciones (96 h) fueron repetidas en tres tiempos en diferentes días. Las mediciones de producción de gas se tomaron con un transductor de presión (marca Lutron) cada hora de 1 hasta 8 h, cada 4 horas desde las 12 hasta las 44 horas, y a 52, 60, 72, 84 y 96 h post incubación. Después de las 96 h, los residuos de incubación fueron analizados para evaluar la digestibilidad de la materia seca (MS), materia orgánica (MO) y fibra detergente neutro (FDN). Para el cálculo de la digestibilidad *in vitro* de la materia seca

(DIVMS) se utilizó la microtécnica propuesta por Pell y Schofield (1993).

Los parámetros de fermentación ruminal *in vitro* se estimaron mediante el ajuste del volumen de gas acumulado de cada botella, mediante la fórmula: $PGIV = B [1 - \exp -r (t-lag)]$ (Krishnamoorthy *et al.*, 1991), donde: PGIV = producción total de gas *in vitro* (0.5 g/g MS); B = producción asíntota de gas; r = porcentaje de producción de gas en un tiempo t; y lag = tiempo transcurrido antes del inicio de la fermentación de los carbohidratos estructurales. Para la realización de los ajustes se utilizó el programa Grafit v3. Estos parámetros solo se evaluaron en los componentes de la planta hoja y tallo.

Preparación del ensilado

El forraje se cosechó durante la primera semana de octubre del 2020 fue picado a 2 cm y pesado en una báscula para vehículos ubicada dentro de la facultad. Todo el material fue llevado al silo tipo bunker y colocado en tres espacios distintos, uno para cada híbrido de maíz. La materia verde fue compactada cada vez que se alcanzaba una capa de 40 a 60 cm de grosor, al finalizar este proceso el material fue tapado con plástico negro asegurado con objetos pesados para evitar la entrada de aire. Se dejó fermentar por 30 días (Johnson *et al.*, 2002).

Animales y condiciones de mantenimiento

El protocolo fue aprobado por el Sub-Comité Institucional para el Cuidado y Uso de los Animales Experimentales del posgrado en Ciencias de la Producción y Salud Animal, UNAM con el número de proyecto: **SICUAE.DC-2021/2-4**. Se usaron 34 ovejas gestantes de la raza Columbia y cruzamientos con Dorper distribuidas de manera aleatoria en tres grupos experimentales de acuerdo con su peso, condición corporal y paridad (ovejas al primer parto y ovejas de más de un parto). Aproximadamente a partir del día 67 de gestación se les proporcionó una dieta que estuvo compuesta por 50% de los ensilados de los híbridos de maíz (Centli Puma, Tsiri Puma o Tlaoli Puma para cada grupo), 10 % de heno de avena, 18% de heno de alfalfa y 22% de concentrado comercial (la dieta dio un aporte de 12% de proteína cruda (PC) y 2.6 Mcal/kg de energía metabolizable (EM).

Determinación de cambios de peso y de condición corporal, así como metabolitos en sangre

A las ovejas se les determinó el cambio de peso (ganancia o pérdida de peso que hubo entre una y otra medición) y el cambio de condición corporal, los cuales fueron registrados en los siguientes periodos en la gestación: Periodo 1 = de 64 a 85 días, periodo 2 = de 85 a 106 días, periodo 3 = de 106 a 131, periodo 4

= de 131 al parto. Así como después del parto: periodo 5 = del parto a día 15 y periodo 6 = del día 15 al día 30 de lactancia. La condición corporal se determinó en la escala de 1-5, en donde 1 se considera emaciada y 5 obesa (Russel *et al.*, 1969).

Los niveles séricos de glucosa y β hidroxibutirato fueron determinados mediante muestras de sangre en los días 64, 85, 106, 131 de la gestación y al parto. Los muestreos se hicieron con los animales en ayunas aproximadamente a las 09:00 am. Se tomó una muestra de 3ml mediante punción en la vena yugular con agujas Vacutainer® de 21G x 25 mm, la cual fue depositada en tubos con EDTA con capacidad de 3 ml respectivamente, las muestras sanguíneas fueron mantenidas en refrigeración hasta ser centrifugadas en el laboratorio dentro de las instalaciones de la Facultad el mismo día de la toma. En el laboratorio las muestras sanguíneas fueron procesadas en una centrífuga Hettich Universal® 16 R a 4 °C, con RPM 3000 durante 20 min; una vez centrifugadas las muestras, el suero fue separado y colocado en tubos Eppendorf con capacidad de 2 ml por medio de pipetas Pasteur y posteriormente fueron congelados a -20°C para su conservación hasta el momento del análisis. Las muestras congeladas de suero fueron llevadas a un laboratorio privado para hacer determinaciones de los metabolitos mediante la técnica de Colorimetría descrita en el trabajo de Cal-Pereyra *et al.* (2011). El β hidroxibutirato fue determinado con el reactivo RANBUT (D-3-Hidroxibutirato, Randox, Reino Unido).

Análisis estadístico

Para el experimento 1, correspondiente a la evaluación agronómica de los híbridos se utilizó un diseño en bloques completos al azar, correspondiente a tres genotipos, con 6 repeticiones para constituir 18 unidades experimentales, cada unidad experimental estuvo constituida por un surco de 5 m de longitud y 0.8 m de ancho. Las variables del experimento se analizaron con los procedimientos Mixed y GLM (SAS, 2023). La prueba de comparación de medias se realizó por medio de la prueba de Tukey con 0.05 de significancia para cada variable.

Para el experimento 2, debido a que las variables de cambio de peso y condición corporal no mostraron una distribución normal (determinado con la prueba de Kolmogorov-Smirnov y utilizando una distribución normal de 0.00, 1.00) con la probabilidad de Lillifors ($P < 0.05$), los datos fueron analizados con estadística no paramétrica. Se usó la prueba de Kruskal Wallis para comparaciones entre los tres híbridos, y la de Wilcoxon para comparaciones dentro de grupos con el programa SYSTAT 13.2. Para las concentraciones en los niveles plasmáticos de glucosa y β hidroxibutirato

se realizó un ANOVA. Los resultados se consideraron significativamente diferentes cuando $P \leq 0.05$, y con una tendencia cuando $0.05 < P \leq 0.1$, (SAS, 2023).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento de materia verde (MV), rendimiento y porcentaje de materia seca (MS)

No se encontraron diferencias significativas de los cuadrados medios del rendimiento de materia verde entre los híbridos de maíz Tlaoli Puma, Tsiri Puma o Centli Puma ($P > 0.05$, Tabla 1), sin embargo, estos rendimientos estuvieron por encima (82.3 ± 1.1 a 84.3 ± 3.3 ton MV) de lo reportado por otros híbridos comerciales y experimentales. En este sentido, trabajos previos realizados en valles altos de México como el de Zaragoza *et al.* (2019), reportaron rendimientos de entre 50 y 75 ton MV para 12 variedades comerciales y experimentales de maíz forrajero. Por su parte Velasco *et al.* (2022) encontraron en diez variedades híbridas rendimientos de 32.5 a 70.2 ton MV, mientras que Mendoza *et al.* (2024), reportaron rendimientos de entre 55.2 y 68.2 ton MV para 6 variedades híbridas, dos sintéticas y una criolla. Estos datos reafirman el hecho de que los híbridos Puma probados en el presente trabajo tienen mayor potencial para ser usados como forrajes, ya que para un buen rendimiento en la producción de ensilado es necesario que el forraje produzca una mayor cantidad de MV (Elizondo y Boschini, 2001; Sah *et al.*, 2020; Karnatam *et al.*, 2023). El hecho de que los híbridos Puma mostraran mayores rendimientos de MV que los trabajos antes mencionados, se debe probablemente a las variaciones en la precipitación pluvial, lo que se puede corroborar con los registros de la estación meteorológica “Almaraz” que reportó en promedio, para los meses de mayo a octubre una precipitación pluvial de 2.9 mm diarios para el año 2019 y 3.7 mm para el año 2020.

Los rendimientos y porcentajes de MS no tuvieron variaciones entre los distintos híbridos Puma ($P > 0.05$, Tabla 1). Los resultados del rendimiento de MS concuerdan con los reportados por Zaragoza *et al.* (2019), donde el híbrido H-51 (23.4 T) fue similar a Centli Puma (23.5 T), mientras que Puma 1181 fue igual a lo obtenido en Tlaoli Puma (20.9 T); y el híbrido Tsiri Puma (22.5 T), obtuvo un resultado cercano al híbrido 501 x 554 (22.1 T). En este sentido Velasco *et al.* (2022), reportaron rendimientos de materia seca similares al híbrido Tlaoli Puma (19.6 T), pero menores para el híbrido Tsiri (17.5 T), así como para otros híbridos dentro de su trabajo (8 a 18.5 T). En el trabajo de Mendoza *et al.* (2024), reportaron rendimientos de entre 20 y 24.2 T. Con todo ello, las variedades evaluadas en el presente trabajo muestran rendimientos cercanos a los límites superiores reportados para la producción de forraje por lo que se confirma que los híbridos Puma tienen buen potencial

para ser usados en la alimentación del ganado ya que permitirían bajos costos y mayor eficiencia productiva.

En contraste, el porcentaje de MS fue menor en los híbridos del presente estudio comparado con lo reportado por Zaragoza *et al.* (2019), ya que en el presente trabajo se obtuvieron valores de entre 26 a 28% de MS, mientras que los híbridos estudiados por Zaragoza *et al.* (2019) tuvieron valores promedio que oscilaron entre 31 a 39%, este contraste pudo deberse en primer lugar a que su experimento se desarrolló en otro ambiente con condiciones de calidad de suelo y lluvia distintas a las del lugar en donde se llevó a cabo el presente estudio. Pero también pudieron deberse al tiempo de siembra y por lo tanto de cosecha, ya que en el trabajo mencionado reportan una fecha de siembra tardía. En este experimento se presentó una situación particular que pudo haber afectado porcentaje de MS ya que un mes después de la siembra se presentó una granizada importante, y como consecuencia afectó el crecimiento de la planta. En tanto que los porcentajes de MS aquí reportados son similares a lo encontrado por Velasco *et al.* (2022). Esto demuestra que la variación en el porcentaje de MS depende principalmente de la época de cosecha y la edad de la planta, así como de las condiciones climáticas que puedan imperar en la zona (Bernardes *et al.*, 2018).

A pesar de los contrastes con otros trabajos, los porcentajes de MS del presente estudio están dentro de los límites para la cosecha de ensilados ya que incluso el trabajo de Zaragoza *et al.* (2019), reportó altos porcentajes de MS que van desde 31 hasta 39% asociados a una cosecha tardía y por lo tanto una fase avanzada de madurez de la planta; en este sentido, Ramírez *et al.* (2024), han descrito que la cantidad de MS del forraje de híbridos de maíz se modifica de acuerdo con el tiempo de cosecha después de la siembra, indicando que este pasa de un 25.8% a los 121 días hasta un 37.8 % cuando los híbridos se cosecharon a los 142 días post siembra. Los valores reportados en este trabajo están por arriba del valor mínimo de 25%, ya que por debajo de este porcentaje podría representar mayores pérdidas por efluentes y por respiración, tal como lo reportan Karnatam *et al.* (2023) y McDonald (1991), lo que coincide con otros autores que indican que el porcentaje de MS no debe de estar por debajo de 25% (Argamentería *et al.*, 1997; Yahaya *et al.*, 2002). En una revisión realizada por Ledezma (2018), en donde se discutió el potencial de forrajes para ensilar, se considera que un porcentaje adecuado de humedad es alrededor del 25%, ya que valores por encima de eso afecta el proceso de fermentación por el alto contenido de agua, mientras que valores de MS superiores a 35% dificultan la compactación del material por el bajo contenido de agua, lo que provoca que no se elimine totalmente el oxígeno y se presenten fermentaciones indeseables que disminuyen la calidad del ensilado (Zardin *et al.*, 2017). Por lo tanto, con esta información

y resultados, se puede inferir que los ensilados realizados con híbridos Puma están dentro de los rangos promedio de rendimiento de MV y MS, lo que permite obtener un ensilado de buena calidad (Bernardes *et al.*, 2018).

Constitución de los componentes de las plantas de los híbridos de maíz Puma

Cuando se evaluaron los componentes de la planta se observó que solamente el porcentaje de la hoja varió significativamente entre los híbridos ($P < 0.05$, Tabla 1), el menor porcentaje lo tuvo el grupo Tsiri Puma. Se considera que la hoja es un constituyente importante de la planta, ya que tiene características de estructura y composición bioquímica que los ovinos podrían preferir, más que el tallo o la mazorca sin grano (Villalva y Provenza, 1992; García-Favre *et al.*, 2023), y que además presenta un mayor grado de digestibilidad que otras partes aéreas como el tallo (Karnatam *et al.*, 2023); esto implicaría que el ensilado del híbrido Tsiri Puma estaría en desventaja con respecto a los otros híbridos ya que el contenido de la hoja fue menor lo que podría sugerir que las ovejas de este grupo ingerirían una menor cantidad de ensilado; sin embargo, Castillo-Hernández *et al.* (2024), reportaron que al medir el consumo diario de las ovejas encontraron que no hubo diferencias entre los grupos Tsiri Puma y Tlaoli Puma pero sí para el grupo Centli Puma en el cual las ovejas tuvieron mayores consumos, en esos resultados se observa que los promedios diarios de consumo por animal para los tres grupos están entre 4.3 a 4.6 kg / día/ oveja en el día 84 de gestación y entre 4.6 a 5.0 kg/oveja/día en el día 147 de gestación (Castillo-Hernández *et al.*, 2024). Lo que sugiere que la menor cantidad de hoja encontrada en el híbrido Tsiri Puma no afectó el aprovechamiento como ensilado que tuvieron los animales. Tampoco afectó la calidad nutricional del forraje usado en el ensilado ya que los resultados obtenidos en el cambio de peso y condición corporal de este trabajo, como se observa más adelante, muestran que los tres grupos tuvieron buen rendimiento.

También es importante considerar que el contenido de materia seca en toda la planta de maíz, incluidos las hojas y el tallo, incrementa significativamente a medida que avanza la edad de la planta. Una buena proporción del contenido de materia seca se encuentra en la fracción de la hoja de acuerdo al estado de madurez de la planta, disminuyendo esta fracción conforme avanza el estado fenológico (Firdous y Gilani, 1999; Masoero *et al.*, 2006; Islam *et al.*, 2012; Ramírez *et al.*, 2024), por lo que la madurez, abundancia y composición de las hojas en los distintos híbridos de maíz podría influir en el aprovechamiento del forraje y esto podría ser contraproducente para los híbridos Tlaoli Puma y Centli Puma los cuales tuvieron

mayor porcentaje de hoja. Con respecto a los porcentajes de tallo y mazorca no difirieron entre los híbridos ($P > 0.05$, Tabla 1). Los híbridos Puma estudiados en el presente trabajo sólo habían sido evaluados en su porcentaje de mazorca, por lo que es la primera vez que se reportan datos de porcentaje de tallo y hoja.

Por otra parte, los resultados obtenidos de los tres componentes de la planta de los híbridos Puma no concuerdan con los reportados por otros autores, en este sentido Sánchez-Hernández *et al.*, (2019), quienes evaluaron cinco híbridos y una variedad sintética de maíz (VS536, DK357, H520, NH5, HE1A17, H564C) en la región de Oaxaca encontraron las siguientes producciones en promedio de los componentes: hoja 27.9%, tallo 18.8% y 53.2% mazorca; algo similar fue reportado por Ramírez *et al.*, (2024) quienes reportaron valores entre 23 y 28% para hojas, de 19 a 21% para tallos, y entre 35 y 40% para mazorca, lo cual fue superior comparado con el presente estudio. Por otro lado, Masoero *et al.* (2006) encontraron porcentajes de hojas de 17 a 20%, tallos de 38 a 42%, y mazorcas de 35 a 37%, estos resultados se asemejan a los reportados en el presente trabajo. Sin embargo, hay que destacar que estos valores están relacionados al estado de madurez de la planta, y en el caso de este último autor los datos mencionados corresponden a un estado masoso del grano, donde la planta ya ha acumulado una mayor cantidad de fibra en los tallos y de almidón en el caso de los granos de la mazorca. En general se puede observar que en otros trabajos se han obtenido mayores porcentajes en hoja y mazorca, y menores porcentaje de tallo que contrastan con los híbridos Puma del presente trabajo. Los menores porcentajes de mazorca obtenidos en este experimento son, probablemente resultado de las bajas precipitaciones que se presentaron en el año en que se hizo el experimento e influyeron en un menor crecimiento de la planta y en consecuencia de mazorca. Sin embargo, eso no alteró la calidad nutricional del ensilado obtenido con estos híbridos ya que se reflejó en una buena productividad en las ovejas.

Contenido de proteína de cada componente de la planta

La proteína cruda de cada componente de la planta fue similar en los tres híbridos Puma ($P > 0.05$, Tabla 2), a pesar de que hubo una variación en el porcentaje de composición de hojas. En el presente estudio los porcentajes de PC de los componentes (hoja 7.17%, tallo 4.2% y mazorca 6.2%) fueron diferentes a los resultados reportados por Cetinkaya *et al.* (2020), en el componente hoja (12.41%), pero similares en los componentes mazorca (4%) y tallos centrales (6.3%). Por su parte, Masoero *et al.* (2006) observaron diferencias en el componente hojas (10.3 a 13.3%) y

Tabla 1. Comparación de medias y error estándar de híbridos de maíz Tlaoli Puma, Tsiri Puma y Centli Puma.

Híbridos	RMV (Ton)	RMS (Ton)	MS (%)	Hoja (%)	Tallo (%)	Mazorca (%)
Tlaoli Puma	82.3±1.1	20.9±6.0	27±1.5	17.1±0.7 ^{ab}	52.55±1.4	30.7±1.2
Tsiri Puma	84.3±3.3	22.5±7.9	26.9±0.6	15.6±0.4 ^b	49.8±1.7	34.6±1.7
Centli Puma	83.2 ±1.9	23.5±7.3	28.8±1	17.8±0.7 ^a	51.5±1.9	30.7±1.6

RMV: Rendimiento de materia verde; RMS: Rendimiento de materia seca; MS materia seca. Letras diferentes en cada columna indica diferencia significativa ($P < 0.05$).

mazorcas (2.8 a 3.9%), pero similitudes con el componente tallos (3.1 a 5.3%). Dong-Shen y Tang (2022), también reportaron niveles de proteína altos para las hojas (16.5 a 19.5%) y ligeramente superiores para tallos (7 a 7.8%) en maíz para ensilado. Por otro lado, He *et al.* (2020) y Amin (2011), reportan niveles de proteína similares para hojas (6.9 a 9.6%) mientras que para los tallos He *et al.*, (2020) obtuvieron niveles inferiores (1.5 a 3%) y Amin (2011) reportó niveles ligeramente superiores (6.9 a 9.4%). Estas diferencias podrían deberse a las condiciones climáticas del lugar en donde se realizaron los estudios como lo indica Bernardes *et al.*, (2018). Por ejemplo, Ayaşan *et al.*, (2020), indicaron que cuando la siembra recibió una precipitación pluvial de temporal de 155.6 mm, lo cual era insuficiente, se tuvieron que auxiliar de riego por goteo para garantizar el buen desarrollo de la planta, y en consecuencia pudieron obtener altos valores de proteína en los componentes de la planta. Es importante mencionar que en el presente estudio la precipitación pluvial recibida fue de 524.9 mm. Otro factor ambiental que puede tener efectos en el contenido nutricional de la planta es la temperatura como lo indica Walne y Reddy (2022), ya que tiene un impacto importante en el desarrollo fenológico de la planta, en su estudio observaron que al alcanzar temperaturas alrededor de los 30 °C puede ocurrir un desarrollo adecuado. En nuestro estudio la temperatura máxima promedio por mes alcanzada fue de 26.7 °C, lo que sugiere que pudo haber favorecido el contenido nutricional de la planta. Por su parte, la densidad de siembra también está relacionada con el desarrollo óptimo de las plantas, tal como lo indica Djaman *et al.*, (2022), en este sentido, la densidad estará relacionada con el objetivo productivo del maíz utilizado, pues menores densidades (<88,000 plantas por hectárea) inducirán mayor rendimiento de mazorca y sus componentes, mientras que mayores densidades (88,000 a 120,000 plantas por hectárea) favorecerán la producción de forraje total (partes aéreas y mazorcas incluidas), al reducir el tiempo de crecimiento de la planta y alcanzar el estado masoso más pronto. Asimismo, mayores densidades de siembra pueden causar una senescencia más rápida de las hojas inferiores, lo cual podría limitar el crecimiento de las raíces y la captación de nitrógeno, llevando a un menor tamaño de la mazorca y sus componentes (Djaman *et al.*, 2022). A pesar de ello, estos mismos autores indican que la producción de grano se incrementa a

mayores densidades de siembra, situando su mayor eficiencia en torno a las 88,000 plantas por hectárea. Asimismo, diversos trabajos han usado densidades similares (80,000 a 110,000 plantas por hectárea) en la producción forraje de maíz para ensilados (Velasco *et al.*, 2022; Méndez *et al.*, 2024; Ramírez *et al.*, 2024). Si bien Djaman *et al.* (2022), indica que estos factores podrían estar involucrados en la calidad nutricional de los componentes de las plantas, también Karnatam *et al.* (2023), señala que se debe considerar la arquitectura de éstas, tales como el número total de hojas, las hojas por arriba y debajo de la mazorca y el ángulo de orientación de las hojas puede favorecer la productividad del ensilado; ya que estos al interactuar con los factores ambientales, como la temperatura y radiación solar afectaran el comportamiento de las plantas como la velocidad de crecimiento, la edad a floración, el tamaño y características de la mazorca o la senescencia de las hojas inferiores.

Fibra detergente neutro (FDN) y fibra ácido detergente (FAD) de cada componente de la planta.

En el componente hoja la FDN fue mayor para el híbrido Tsiri Puma con respecto a Tlaoli Puma y Centli Puma, por el contrario, en el componente tallo la FND fue mayor para el híbrido Centli Puma ($P < 0.05$, Tabla 2). Para el contenido de FDN en la mazorca no hubo diferencia entre los híbridos Puma ($P > 0.05$, Tabla 2).

Estos resultados difieren con los reportados por Masoero *et al.*, (2006), quienes indican un 58 a 61% de FDN en el tallo para el momento en que el grano de maíz se encontraba en el estado masoso. Por otro lado, Horst *et al.* (2021), reportaron en la etapa lechoso-masoso 65.98%, 66.97% y 69.76% de FDN en tallos de tres híbridos comerciales; mientras que en nuestro trabajo se obtuvieron hasta diez puntos porcentuales por debajo de los reportados por estos autores. El hecho de haber obtenido menores porcentajes de FDN en la presente investigación permite afirmar que la degradabilidad de esta porción del forraje es mejor, ya que como lo reporta Estrada-Flores *et al.* (2006), el FDN está relacionado con la edad de la planta e implica que, si la cosecha se da en etapas fenológicas más avanzadas, mayor será el porcentaje de FDN, lo que podría limitar el consumo de MS por parte del animal y también disminuir la digestibilidad del forraje. Mientras que proporciones menores de FDN, como las

Tabla 2. Características nutricionales (media±E.E.) de los híbridos de maíz Puma de acuerdo con sus componentes hoja, tallo y mazorca.

Nutriente	Componente	Tlaoli Puma	Tsiri Puma	Centli Puma
Proteína %	Hoja	7.36±0.81	7.61±0.50	6.60±0.51
	Tallo	3.74±0.27	4.71±0.61	4.20±0.83
	Mazorca	6.42±0.50	6.08±0.31	6.20±0.41
FDN %	Hoja	54.23±0.29 ^b	58.88±0.34 ^a	55.19±0.35 ^b
	Tallo	55.65±0.04 ^b	55.68±0.39 ^b	59.67±0.30 ^a
	Mazorca	55.31±0.43	55.89±0.63	56.21±1.16
FAD %	Hoja	28.10±0.38 ^b	37.33±0.91 ^a	36.75±0.77 ^a
	Tallo	31.71±0.043	31.85±0.37	32.76±1.6
	Mazorca	28.1±0.88 ^c	31.66±0.78 ^b	35.1±0.35 ^a

Letras distintas en una misma fila indican diferencias significativas ($P < 0.05$).

encontradas en el presente trabajo implican una mayor concentración de carbohidratos solubles (azúcares) de fácil degradación en los tallos y que, en el caso de la elaboración de ensilados, generan compuestos como los ácidos butanoico, propanoico, y 3-metil butanoico entre otros, que mejoran la acidez y aroma de los ensilados y el proceso de fermentación (Karnatam *et al.*, 2023).

En lo que respecta a FAD para el componente hoja, los mayores valores los presentaron Tsiri Puma y Centli Puma mientras que Tlaoli Puma tuvo el menor valor ($P < 0.05$, Tabla 2). Para el componente tallo el contenido de FAD no difirió entre los híbridos Puma ($P > 0.05$, Tabla 2). Por su parte el contenido de FAD de la mazorca fue menor solo para el híbrido Tlaoli Puma ($P < 0.05$, Tabla 2). En este sentido, Horst *et al.* (2021), reportaron contenido de FAD de 67.94%, 63.05% y 64.59% en las hojas de los híbridos que evaluaron, mientras que Masoero *et al.* (2006), reporta un contenido de 32.94% de FAD para este mismo componente, siendo este último valor cercano a lo reportado en nuestro estudio.

En promedio, los valores de FAD para mazorcas de los híbridos que reportaron Masoero *et al.* (2006), fue de 32.67%, lo cual es similar a lo encontrado en los híbridos Puma; en cambio los valores de FAD (70.09%, 69.17% y 70.77%) observados por Horst *et al.* (2021), resultaron superiores. Los bajos porcentajes FAD obtenidos en los tallos de los híbridos Puma indican que presentan mejor contenido de fibras, ya que los valores de FDN y FAD están relacionados con la edad de la planta al momento de la cosecha, entre más edad tenga la planta habrá un aumento de esos componentes y por lo tanto una reducción en la ingestión de alimentos, digestibilidad del forraje y menor optimización del contenido energético (Ramírez *et al.*, 2002). En conclusión, a pesar de las diferencias entre los tres híbridos en los valores de FAD en hoja y mazorca se obtuvieron resultados adecuados que denotaron buen aprovechamiento del forraje.

Producción de gas in vitro (PGIV) y digestibilidad in vitro (DIV) de cada componente de la planta

No se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) en la fracción insoluble (B) en los tres componentes de los tres híbridos Puma, las diversas fracciones de los tres híbridos en sus componentes hoja y tallo, esto indicaría que son similares en cuanto al valor de fermentación de la fracción insoluble. La tasa de fermentación en la fracción c-b no difirió entre los grupos, pero al comparar entre los componentes tallo y hoja de los tres híbridos Puma se observaron tasas menores en las hojas del grupo Tsiri Puma y Tlaoli Puma que en los tallos ($P > 0.05$, Tabla 3). No obstante estos resultados se encuentran dentro de los rangos para los tallos y hojas de maíz forrajero reportadas por Tolera y Sundstøl (1999), con tasas de la fracción B de alrededor de 250, de 0.04 para la fracción c-b; asimismo Tang *et al.* (2008), para cinco variedades de maíz reportaron en las hojas parámetros de producción de gas en de la fracción B de: 215.5 a 230, de 0.0325 a 0.0726 para la fracción c-b, y de 11.65 a 25.65 para Lag; mientras que en los tallos los parámetros de producción de gas fueron de 180 a 273.5 para la fracción B, de 0.0234 a 0.0578 para la fracción c-b, y de 5 a 50 para Lag. Por su parte He *et al.* (2020), reportaron que en 13 cultivares la producción de gas total por gramo fue de entre 250 y 303 para las hojas y de 224 a 306 para el caso de las hojas; estos mismos investigadores modelaron la relación de la producción de gas a las 72 horas con la composición química de las hojas y tallos, encontrando que para el caso de las hojas existe una relación entre la cantidad de gas producido, el contenido de lignina y de proteína [Producción de gas a 72 horas = $360 (\pm 23.6) - 2.05 (\pm 0.654) \times \text{Lignina} - 0.64 (\pm 0.233) \times \text{PC}$; r^2 0.33], mientras que para los tallos el contenido de celulosa y lignina son los componentes químicos con mayor incidencia en la producción de gas [Producción de gas a 72 horas = $432 (\pm 18.2) - 0.2 (\pm 0.046) \times \text{Celulosa} - 2.18 (\pm 0.315) \times \text{PC}$; r^2 0.82]. Sin embargo, los resultados observados en este trabajo difieren a lo reportado por Estrada-Flores *et al.* (2006), quienes

reportaron mayores valores de las diferentes fracciones tanto para las hojas (300, 0.052 y 25), los tallos (250, 0.044 y 20) y las mazorcas (350, 0.070 y 30); probablemente esta diferencia se deba al contenido total de paredes celulares fermentables (Van Soest, 1994). Finalmente, en el tiempo lag (tiempo que pasa antes de iniciar la fermentación de la fibra detergente neutro) de los componentes de los tres híbridos se observó que Centli Puma presentó el mayor valor en sus hojas, mientras que, para los tallos, el mayor valor se reportó para el híbrido Tlaoli Puma ($P < 0.05$, Tabla 3). Al comparar entre componentes, las hojas obtuvieron mayores valores que los tallos ($P < 0.05$), esto podría indicar un mayor contenido en componentes menos degradables como la lignina, por lo que sería adecuado realizar estudios para determinar otros componentes nutricionales.

Digestibilidad *in vitro* de materia seca (MS), materia orgánica (MO) y FDN de tallo, hoja y mazorca.

En los valores de digestibilidad *in vitro* para todas las variables (dMS, dMO y dFDN) no se encontraron diferencias significativas entre los grupos ($P > 0.05$, Tabla 4) en ninguno de los componentes: hoja, tallo y mazorca; esto podría indicar que la fermentación de la

MS por parte de los microorganismos en cada componente es muy similar, además de encontrarse dentro de los rangos para maíz, como lo indica Masoero *et al.* (2006), cuyos valores reportados para la dMS en los tallos de plantas en estado lechoso fue de 68% para la etapa de “masa” y fenológico de 62.02% y de 52.25% en la planta madura, mientras que en la hojas reportaron 74.76% durante la etapa de formación de estigmas y 69.19% durante la etapa madura; finalmente dichos autores reportaron en la mazorca de 65.95% en el estado “masa” y de 55% en las plantas maduras.

En la dFDN Masoero *et al.* (2006), indicaron valores alrededor de 38% en los tallos siendo su digestibilidad menor que la mostrada en este estudio, por otra parte, reporta valores en torno a 50% en las hojas y mazorcas; resultados también por debajo de lo reportado en este estudio de híbridos Puma. Por su parte, Estrada-Flores *et al.* (2006), reportaron valores de dFDN de 57% para los tallos, de 65 a 70% para las hojas y de 80% para las mazorcas. Esto podría indicar un mejor aprovechamiento de los tallos, hojas y mazorcas, aunque estas últimas tienen un menor grado de dFDN presentan un mayor grado de digestibilidad de la MS y la MO lo que se puede explicar por el mayor contenido de carbohidratos de reserva (almidón); mientras que la

Tabla 3. Parámetros de fermentación (media±E.E.) por la ecuación Krishnamoorthy (1991) de los híbridos de maíz Puma de acuerdo con su componente hoja y tallo.

Parámetro	Componente	Tlaoli Puma	Tsiri Puma	Centli Puma
B	Hoja	255.97±11.19	235.29±6.52	255.40±12.06
	Tallo	227.84±13.70	229.44±12.06	236.57±10.82
c-b	Hoja	0.026±0.003 ^a	0.026±0.003 ^a	0.028±0.001
	Tallo	0.037±0.004 ^b	0.038±0.003 ^b	0.034±0.002
Lag	Hoja	12.87±1.44 ^a	13.98±0.58	14.24±1.29 ^{a*}
	Tallo	10.23±1.44 ^{b*}	11.96±0.70	10.64±1.73 ^b

Letras diferentes dentro de columna de cada parámetro entre cada componente indican diferencias significativas ($P < 0.05$). Asteriscos en cada fila para cada componente indica diferencia significativa entre los grupos experimentales ($P < 0.05$). B: asíntota de producción de gas (fracción insoluble); c-b: tasa de fermentación de la fracción insoluble; Lag= fase antes de iniciar la fermentación (h) de la FDN.

Tabla 4. Digestibilidad *in vitro* (media±E.E.) de los híbridos de maíz Puma de acuerdo con su componente hoja, tallo y mazorca.

Digestibilidad <i>in vitro</i>	Componente	Tlaoli Puma	Tsiri Puma	Centli Puma
MS	Hoja	67.54±1.65	58.38±3.41	65.99±2.38
	Tallo	68.60±1.87	68.98±1.64	70.74±1.29
	Mazorca	77.81±1.95	75.66±3.87	79.31±2.37
MO	Hoja	60.31±4.48	64.25±2.42	65.65±0.79
	Tallo	70.46±1.9	69.70±1.39	66.49±1.01
	Mazorca	77.53±2.01	75.38±3.94	79.04±2.44
dFDN	Hoja	58.96±3.32	63.90±1.55	62.86±2.13
	Tallo	54.50±3.87	54.02±3.25	53.79±6.13
	Mazorca	66.04±3.1	64.1±4.87	67.26±4.02

Valores de digestibilidad *in vitro* entre los grupos ($P > 0.05$). MS: digestibilidad *in vitro* de la materia seca; MO: digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica; FDN: digestibilidad *in vitro* de la fibra detergente neutro.

menor dFDN podría atribuirse al contenido de FAD, contenida principalmente en el olote y las hojas de la mazorca. Por su parte, nuestros resultados se asemejan parcialmente a los encontrados por Ayaşan, *et al.* (2020), quienes reportaron que la digestibilidad in vitro de materia seca (DIVMS) más alta se presentó en los granos (79.06%) y la más baja en la parte inferior del tallo (38.13%).

Cambio de peso corporal de las ovejas

Esta variable (Figura 1) no difirió entre grupos experimentales, en ninguno de los intervalos de tiempo registrados durante las mediciones ($P>0.05$). La similitud de los resultados entre los grupos experimentales se atribuye a que las cualidades nutricionales de las dietas de las ovejas estuvieron balanceadas para las etapas reproductivas evaluadas. Por otro lado, se encontró que el cambio de peso de las ovejas fue afectado debido a la etapa en la que se midió ($P<0.05$). Es decir, se observó que las ovejas de los tres grupos mantuvieron incrementos de peso constante (± 5 kilos, en periodos de 21 días, Figura 1) desde el día 64 hasta el 131 de gestación, lo cual indica un adecuado crecimiento del producto (Bricker *et al.*, 2015) que pudo estar favorecido por el aporte nutricional debido al suministro de las dietas con los tres ensilados de maíz Puma, como sugieren Sales *et al.* (2024). Asimismo, esto se refleja en la estabilidad del cambio de CC y el incremento de glucosa. Por su parte, en el intervalo que comprendió entre el día 131 de gestación y hasta el parto, se observó una pérdida de peso de casi 7 kilos en promedio en los tres grupos. Estos datos se asemejan a los reportados por Keady y Hanrahan (2021), en donde las ovejas alimentadas con

ensilados de maíz incrementaron peso durante la gestación y hasta el momento del parto en el cual se reportó una pérdida de peso y su posterior recuperación durante la lactancia.

El crecimiento fetal en los ovinos ocurre de manera exponencial a medida que avanza la gestación, el mayor porcentaje de crecimiento ocurre en el último tercio de la gestación (Robinson, 1990; Dwyer *et al.*, 2005), y la nutrición materna es determinante para ese crecimiento (Freitas de Melo *et al.*, 2017; Sales *et al.*, 2024) ya que también se incrementan las necesidades metabólicas de las ovejas al final de la gestación (Damian *et al.*, 2020; Mohamaadi Barimanloo *et al.*, 2022), ya que el metabolismo materno está enfocado principalmente en proveer energía para el desarrollo y crecimiento fetal (González-García *et al.*, 2015; Mohammadi *et al.*, 2016). Esto coincide con el mayor incremento de peso que tuvieron las ovejas entre el día 106 al 131 de gestación, así como las elevadas concentraciones de glucosa y bajos niveles de β hidroxibutirato en esas mismas etapas, con lo cual podemos afirmar que las hembras recibieron suficiente aporte nutricional debido a las dietas con ensilado de los híbridos de maíz Puma. En un estudio realizado en ovinos en donde se midió la relación entre las medidas biométricas fetales mediante ultrasonografía y el peso y crecimiento del cordero se encontró que el diámetro biparietal tuvo un incremento progresivo entre el día 91 a 105 de la gestación, por su parte el diámetro torácico y abdominal tuvieron incrementos importantes entre los días 106 a 135 de la gestación (Vannuchi *et al.*, 2019), lo cual coincide con los incrementos de peso obtenidos en las ovejas del presente estudio.

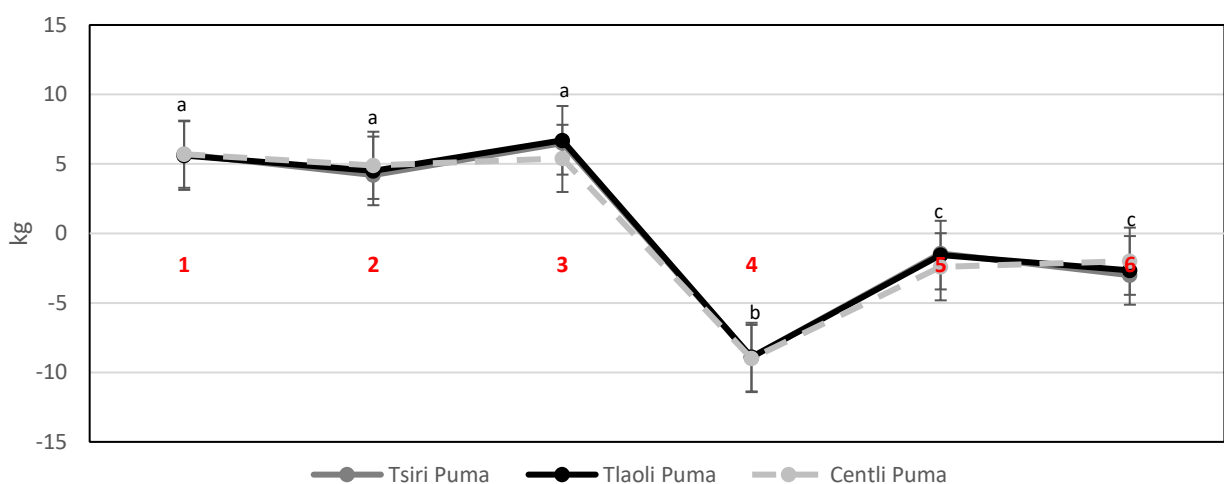


Figura 1. Cambio de peso (media $\pm$ E.E.) de ovejas alimentadas con una dieta que contenía 50% de ensilado de los híbridos de maíz (Centli Puma, Tsiri Puma y Tlaoli Puma). Letras diferentes indican diferencias debido al tiempo ($P < 0.05$). En el eje de las x los números indican las mediciones en el tiempo por intervalos: 1 (día 64 a 85 de gestación); 2: (día 85 a 106 de gestación); 3: (día 106 a 131 de gestación); 4: (día 131 de gestación al parto); 5: (parto a día 10 de lactancia) y 6: (día 10 a 30 de lactancia).

Cambio de la condición corporal de las ovejas

El cambio de condición corporal (CC) de las ovejas (Figura 2) no difirió entre grupos experimentales a lo largo de las mediciones ($P > 0.05$). Sin embargo, sí fue afectado debido al tiempo ($P < 0.05$), en la figura 2 se observa que las ovejas de los tres grupos mantuvieron cambios de CC constante del día 64 hasta el 131 de gestación, los cuales estuvieron en un rango de -0.2 a 0.2 puntos; sin embargo, en el intervalo que comprendió del día 131 de gestación al parto se observa que las hembras perdieron significativamente CC ya que pasó de un cambio de CC de 0 en el día 131 de la gestación a disminuir -0.6 puntos en el parto ($P < 0.05$). Esto significa que a medida que avanzó la gestación las dietas provistas a las ovejas con el ensilado de los maíces probados, permitieron un aumento en sus reservas corporales, pero una vez que se acercó el parto estas variaciones se volvieron negativas disminuyendo el cambio de CC. Estos cambios en la CC correspondieron de acuerdo con lo reportado por Castillo-Hernandez *et al.*, 2024 a CC de 3.1 a 3.25 al día 131 y de 2.7 al parto. La CC en las ovejas se mantiene elevada durante la gestación y disminuye una vez que ocurre el parto, como lo indican los trabajos realizados por Keady y Hanrahan (2021) y García-González *et al.* (2014), en los cuales se reportaron incrementos de la CC de las ovejas durante la gestación tardía, y una vez que ocurrió el parto se observó una pérdida de condición corporal. Los resultados obtenidos en los cambios en la CC de las ovejas van en concordancia con las variaciones del peso corporal y en las concentraciones de glucosa y β hidroxibutirato, así, se observaron incrementos de peso

y de CC en la gestación tardía entre los días 106 y 131, y altas concentraciones de glucosa y bajas de β hidroxibutirato (Figura 3), lo que refleja un estado nutricional adecuado con la alimentación de ensilados de los híbridos Puma. En este sentido, Tygesen *et al.* (2008) reportaron que la CC de las ovejas en las últimas 6 semanas de gestación se mantuvo elevada mientras existió un buen plano nutricional y disminuyó cuando ocurrió el parto, llegando a presentar descensos de CC de hasta -0.3 puntos, lo cual coincide con nuestro trabajo, en el comportamiento reportado, pero hubo diferencias en la pérdida de CC (-0.6 puntos). La CC es un método estandarizado para estimar la cantidad de grasa corporal de una oveja. La puntuación de la condición corporal mide el equilibrio entre la ingesta y el gasto de energía (BCSG, 2016). Por su parte existe una relación estrecha entre el peso vivo y la CC, se ha observado que en ovejas la ganancia de peso vivo y CC del 1º al 4º mes de gestación fueron mayores en aquellas con $CC \leq 3$ en comparación con las que tenían una $CC \geq 3$. Por el contrario, en este mismo trabajo, en el último mes de gestación hubo una disminución de la CC en todos los grupos, aunque el peso vivo continuó aumentando, lo cual está relacionado con el metabolismo del tejido adiposo (Álvarez-Rodríguez *et al.*, 2012). Con ello se puede considerar que la alimentación con ensilado de los híbridos Puma permite satisfacer las necesidades nutricionales de las ovejas en la segunda mitad de la gestación, que les favorece el mantener una CC adecuada y estable como reflejo de un estado nutricional óptimo que variará con relación a la etapa de gestación y el parto.

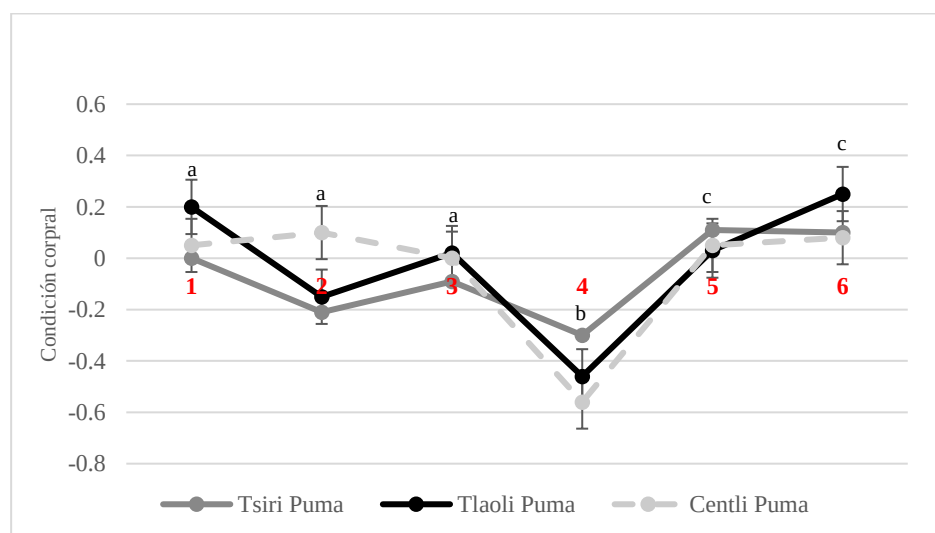


Figura 2. Cambio de condición corporal (media $\pm$ E.E.) de ovejas alimentadas, durante la segunda mitad de gestación y hasta la primera semana postparto, con una dieta que contenía el 50% de ensilado elaborado a base de tres híbridos de maíz (Centli Puma, Tsiri Puma y Tlaoli Puma). Letras diferentes indican diferencias debido al tiempo ($P < 0.05$). En el eje de las x los números indican las mediciones en el tiempo por intervalos: 1 (día 64 a 85 de gestación); 2: (día 85 a 106 de gestación); 3: (día 106 a 131 de gestación); 4: (día 131 de gestación al parto); 5: (parto a día 10 de lactancia) y 6: (día 10 a 30 de lactancia).

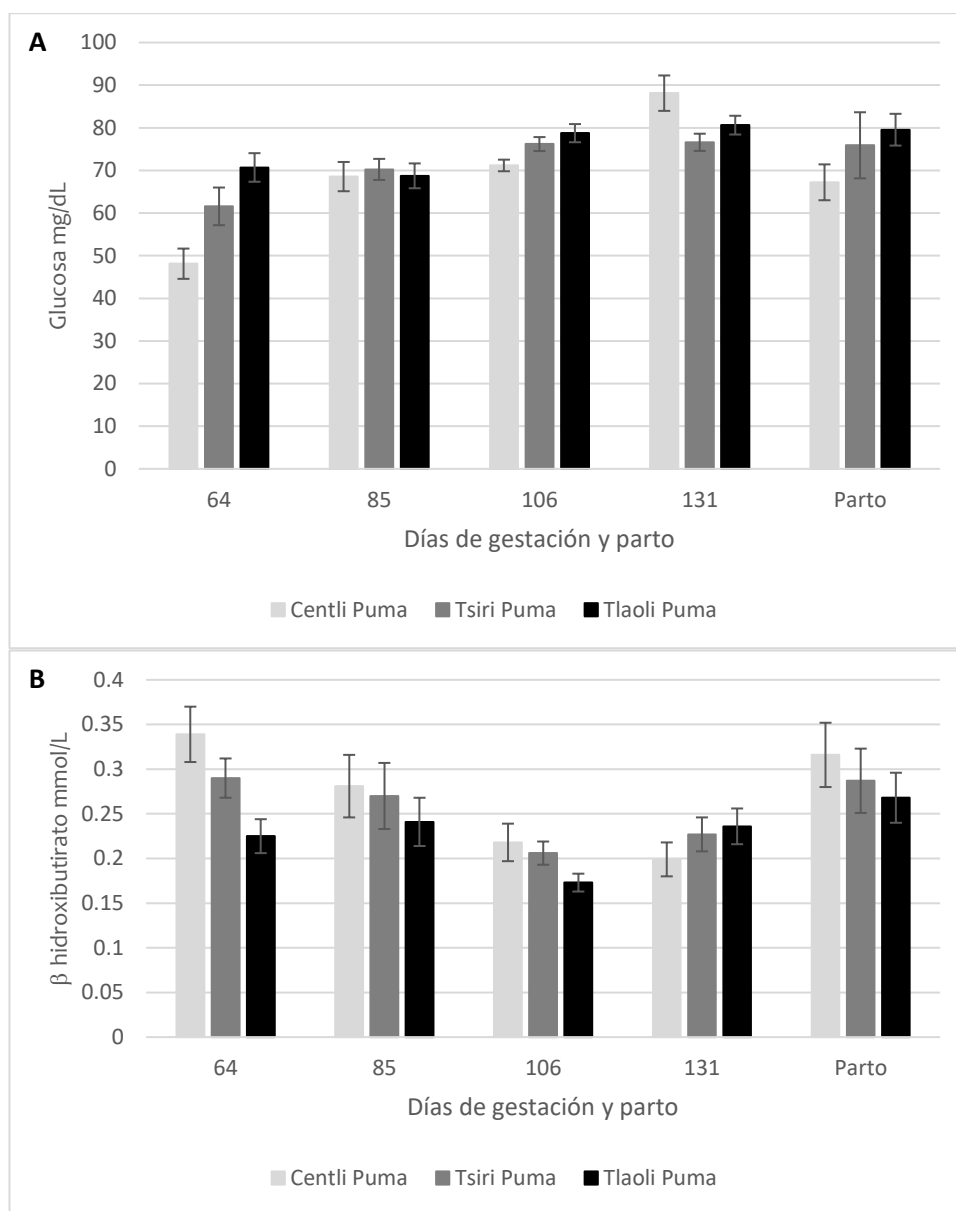


Figura 3. Concentración plasmática (media±E.E) de glucosa mg/dl (A) y de β hidroxibutirato mmol/L (B) de las ovejas de los grupos experimentales Centli Puma, Tsiri Puma y Tlaoli Puma.

Glucosa y β hidroxibutirato

Respecto a las concentraciones séricas de glucosa en este estudio se encontró que no hubo efecto debido al grupo ($P>0.05$), ya que los valores entre híbridos fueron similares en las distintas etapas de medición, se puede observar que las concentraciones de glucosa obtenidas en el presente estudio se encuentran dentro del rango considerado fisiológico para ovejas durante la gestación y se reporta que oscilan entre 50 a 70mg/dL, (El-Sherift *et al.*, 2001; Cal-Pereyra *et al.*, 2012; Khames Mustafa *et al.*, 2023). Los valores obtenidos en nuestro estudio se asemejan a los obtenidos por Damian *et al.* (2020), en ovejas primíparas y multíparas bajo condiciones de pastoreo,

ellos reportan promedios de 70 y 60 mg/dL, respectivamente en el día 65 de gestación, en tanto que en el presente estudio se obtuvieron valores en un rango de 50 a 70 mg/dL en el día 64 de gestación. Asimismo, el mencionado trabajo reporta promedios tanto para primíparas, como para multíparas de 70 mg/dL en el día 140 de gestación, (Damian *et al.*, 20202), mientras que en el presente estudio se obtuvieron promedios de hasta 75 md/dL en el día 131 de gestación.

Cuando se compararon las concentraciones séricas de glucosa a lo largo de los días de gestación se encontró un efecto significativo ($P < 0.05$), en la Figura 3-A se observa que la concentración de glucosa fue

incrementando del día 64 hacia el día 131 de gestación y comenzó a disminuir en el parto, lo cual coincide con lo reportado por El-Sherift *et al.* (2001), en ovejas gestantes de la raza Barki bajo condiciones semi áridas, e indicaron que durante la gestación la glucosa junto con otros metabolitos comenzaron a aumentar significativamente, pero en diferentes etapas. En contraste los resultados de este estudio debido al efecto del tiempo no coinciden con lo obtenido por Firat y Ozpinar, (2001), quienes encontraron que los niveles plasmáticos de glucosa no fueron significativamente diferentes durante el período previo a la gestación, durante la gestación y en la lactancia temprana.

Las concentraciones de glucosa son elevadas al final de la gestación, particularmente en el último trimestre ya que las necesidades de energía se duplican (Ji *et al.*, 2023), por lo que es importante que la hembra disponga de sustratos energéticos para cubrir sus necesidades nutricionales particularmente las de energía, por lo tanto, podemos asumir que los tres híbridos Puma probados en este trabajo permitieron una buena disposición de energía en los animales, como se observa en los niveles de glucosa en sangre a partir del día 64 de gestación (cuando inició el suministro de ensilaje) y hasta el parto. Esto coincide con un estudio realizado por Olazabal *et al.* (2013), en ovejas de la raza Columbia, donde se encontró que en el día 138 de gestación, las ovejas que fueron alimentadas con una dieta que cubrió el 100% de sus requerimientos tuvieron mayores valores de insulina que las ovejas con una dieta que cubrió el 70% de sus requerimientos teóricos de energía y proteína, asimismo se encontró una relación positiva de esta hormona con el peso corporal de las ovejas. La insulina es una hormona que responde a las variaciones en el aporte de energía en la dieta e interviene en la captación de glucosa, además de regular los niveles de glucosa en sangre (Racabarren *et al.*, 2005), por lo que el estudio realizado en ovejas Columbia indica que había una gran captación de glucosa derivada del aporte de la dieta (Olazabal *et al.*, 2013), por lo tanto, el comportamiento de insulina es sinérgico con las concentraciones de glucosa en sangre (Banchero *et al.*, 2004). En ovinos las últimas semanas de gestación son determinantes, por lo que se deben de suministrar dietas altas en energía (Banchero *et al.*, 2004) para evitar que las ovejas no caigan en estrés metabólico, donde los valores de glucosa descieran (Caldeira *et al.*, 2007) y que degeneren en una toxemia de la preñez (Cal-Pereyra *et al.*, 2012; Khames Mustafa *et al.*, 2023; Je *et al.*, 2023). Como conclusión podemos afirmar que el aporte nutricional de la dieta que contenía ensilado de híbridos de maíz Puma permitieron un adecuado aporte de energía que se reflejó en adecuados niveles de glucosa en sangre.

Por su parte se ha reportado que en la gestación tardía existe una correlación negativa entre las

concentraciones de glucosa y el puntaje de CC de las ovejas como fue probado en hembras de la raza Rembi, las cuales cuando presentaron una CC de 4 al final de la gestación, fueron también aquellas que tuvieron menores concentraciones de glucosa (Aiche *et al.*, 2023). En este estudio se midió los cambios de la CC y se observó que el menor cambio ocurrió en el periodo del día 131 de gestación al parto, lo cual también coincidió con mayores concentraciones de glucosa.

En cuanto a la concentración de β hidroxibutirato en el suero sanguíneo no se encontró diferencia entre los tres híbridos Puma evaluados ($P>0.05$), de hecho se observa que los valores fueron similares entre ellos (Figura 3-B), sin embargo, al igual que la glucosa, se encontró un efecto significativo del tiempo ($P<0.05$) ya que las concentraciones de β hidroxibutirato disminuyeron a partir de que se suministró la dieta con el ensilado de maíz de los híbridos Puma, como se observa en la figura 3-B, tuvieron sus valores más bajos en los días 106 y 131 de gestación (0.20 a 0.25 mmol/L) y volvieron a incrementar en el parto (0.35 mmol/L). Estos resultados nos permiten afirmar que el suministro de dietas en ovejas gestantes que contengan ensilado de los maíces Puma permitieron tener bajas concentraciones de este metabólico, lo cual muestra que los animales se encontraban en adecuadas condiciones nutricionales. El ácido β -hidroxibutírico es un cuerpo cetónico, que se utiliza para identificar a las hembras con riesgo a desarrollar cetosis, se considera que valores por encima de 0.8 mmol/L, las hembras podrían considerarse en riesgo medio de desarrollar cetosis durante la gestación (Jones *et al.*, 2018).

Los valores de β hidroxibutirato de este trabajo son similares a los reportados en otros estudios realizados en ovejas en gestación, en donde se reportan valores que van desde 0.3 a 0.5 mmol/L en ovejas que fueron suplementadas con maíz quebrado al final de la gestación (Banchero *et al.*, 2004). Por su parte, Damián *et al.* (2020), reportaron valores de 0.35 a 0.5 mmol/L en el periodo que comprendió del día 57 al 137 de gestación. Así también los resultados muestran similitud con el trabajo realizado por Tygenes *et al.*, (2008), en ovejas evaluadas durante las últimas 6 semanas de la gestación, a las que se les suministró una dieta con el 100% de sus requerimientos, cabe señalar que en el presente estudio se obtuvieron valores ligeramente menores (<0.4 mmol/L) en comparación con los reportados por Tygenes *et al.* (2008) quienes reportan valores de ± 5.0 mmol/L. El β hidroxibutirato en los rumiantes es considerado un indicador clave para detectar problemas metabólicos (Khames Mustafa *et al.*, 2023), ya que también está relacionado con el estado metabólico de la energía y, por lo tanto, cuando existe un balance negativo de energía se puede también identificar con un incremento en las concentraciones de β hidroxibutirato

(Castillo *et al.*, 1999; Rahayej Torfi *et al.*, 2022). Lo cual coincide con los resultados obtenidos para ambos metabolitos de este trabajo, ya que cuando se suministraron los ensilados de los híbridos Puma, a partir del día 64 de gestación, y hasta el parto se observó el incremento de las concentraciones séricas de glucosa, mientras que las de β hidroxibutirato disminuyeron, lo cual indica que las dietas que recibieron las ovejas de los diferentes grupos fueron las adecuadas en cuanto a la calidad y cantidad de los nutrientes, lo que a su vez, se vio reflejado en la ganancia de peso de las ovejas y en el mantenimiento de la condición corporal durante la gestación.

CONCLUSIONES

Los híbridos de maíz Puma evaluados muestran similares rendimientos, calidad nutricional, producción de gas y digestibilidad *in vitro*, independientemente de los componentes de la planta (hoja, tallo y mazorca). La alimentación de ovejas durante la segunda mitad de la gestación con dietas que contenían el 50% de ensilado a base de los tres híbridos, favorece la ganancia de peso y cambios en la CC, así también eleva la concentración sérica de glucosa y disminuye las concentraciones de β hidroxibutiratos.

Agradecimientos

Se agradece a la M.C. Rosario Arvizu de la FES Cuautitlán, UNAM por su invaluable apoyo en el laboratorio con las determinaciones de los metabolitos. Se agradece al MVZ Diego Rueda, por realizar el proceso de inseminación artificial a las ovejas y al Dr. Gustavo Mercado Mancera por su apoyo con los datos de estación meteorológica de la FES Cuautitlán, UNAM. Asimismo, se agradece a Magdalena Franco Oviedo, Israel Villegas, Alan Olazábal, estudiantes de servicio social y voluntarios por su gran apoyo en el manejo de animales y colecta de datos durante la fase experimental. Se agradece a Martín Arana y Jaime Sánchez por su apoyo en el cuidado y manejo de los animales.

Funding: Research carried out thanks to funding from **UNAM-DGAPA-PAPIIT IN224220**, the research chair **FESC-UNAM-CI2245** and the Mexican Council of Science and Technology (COMECYT) Women Researchers fund **FICDTEM-2021-068**. We thank the Institute of Agricultural and Rural Sciences (ICAR) from UAEMex through the research project **6859/2023E** for carrying out *in vitro* ruminal fermentation kinetic tests and the personnel responsible for the Institute's laboratories for their support.

Conflict of interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

Compliance with ethical standards: The protocol was approved by the Institutional Sub-Committee for the Care and Use of Experimental Animals of the postgraduate degree in Production Sciences and Animal Health, UNAM with the project number: SICUAE.DC-2021/2- 4.

Data Availability: Data supporting the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Author contribution statement (CRediT). L.

Castillo-Hernández: Data curation, Formal analysis, Research, Methodology, Visualization, Writing the original draft, writing, review and editing. **A. Terrazas-García:** Conceptualization, Data Curation, Formal Analysis, Funding Acquisition, Research, Methodology, Project Administration, Supervision, Validation, Visualization, Writing the original draft, writing, review and editing. **M. Tadeo-Robledo:** Conceptualization, Data curation, Funding acquisition, Methodology, Validation, Visualization, Writing the original draft, Writing, review and editing. **A. Espinosa-Calderon:** Conceptualization, Data curation, Funding acquisition, Methodology, Validation, Visualization, Writing the original draft, Writing, review and editing. **J. Estrada-Flores:** Data curation, Funding acquisition, Methodology, Validation, Writing the original draft, Writing, review and editing. **A. Castillo-Hernández:** Research, Methodology, Validation, Writing the original draft, Writing, review and editing. **J. Macedo-González:** Research, Methodology, Validation, Writing the original draft, Writing, review and editing. **J. Ramírez-Espinosa:** Research, Methodology, Validation, Writing the original draft, Writing, review and editing. **J. Zaragoza-Esparza:** Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Research, Methodology, Project administration, Supervision, Validation, Visualization, Writing, review and editing.

REFERENCES

- Aiche, S., Smail, F., Chikhaoui, M., Hariche, Z., and Abdelhadi, S.A., 2023. Influence of body condition score during late pregnancy on the variations of biochemical parameters and lamb stillbirths in Rembi ewes. *Tropical Animal Health and Production*, 55(2), pp. 128. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03551-1>
- Álvarez-Rodríguez, J., Estopañan, G., Sanz, A., Dervishi, E., Govoni, N., Tamanini, C., and Joy, M., 2012. Carry-over effects of body condition in the early pregnant ewe on peripartum adipose tissue metabolism. *Journal of animal Physiology and Animal Nutrition*,

- 96(6), pp. 985-992.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2011.01210.x>
- Amin, M.E.M.H., 2011. Effect of different nitrogen sources on growth, yield and quality of fodder maize (*Zea mays* L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 10, pp. 17-23.
<https://doi.org/10.1016/j.jssas.2010.06.003>
- AOAC., 2012. Official methods of analysis of AOAC International. 19 ed. Washington, D.C. USA, 1, pp. 672.
- Argamentería, A., De la Roza, B., Martínez, A., Sánchez, L. and Martínez, A., 1997. El ensilado en Asturias. *Editorial Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias*, pp. 127.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5121008>
- Ayaşan, T., Cetinkaya, N., Aykanat, S., and Celik, C., 2020. Nutrient contents and in vitro digestibility of different parts of corn plant. *South African Journal of Animal Science*, 50(2), pp. 302-309.
<https://doi.org/10.4314/sajas.v50i2.13>
- Banchero, G. E., Quintans, G., Martin, G. B., Milton, J. T. B., and Lindsay, D. R., 2004. Nutrition and colostrum production in sheep. 2. Metabolic and hormonal responses to different energy sources in the final stages of pregnancy. *Reproduction, Fertility and Development*, 16(6), pp. 645-653.
<https://doi.org/10.1071/RD03092>
- Bernal, J., 1991. Pastos y forrajes tropicales: Producción y manejo. 2da edición., *Banco Ganadero*, pp. 544.
https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/19748/67045_63762.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bernardes, T. F., Daniel, J. L. P., Adesogan, A. T., McAllister, T. A., Drouin, P., Nussio, L. G., Huhtanen, P., Tremblay, G.F., Bélanger, G. and Cai, Y., 2018. Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. *Journal of Dairy Science*, 101(5), pp. 4001-4019. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13703>
- BCSG (Body Condition Score Guidance), 2016. <https://textileexchange.org/app/uploads/2021/02/RAF-211a-V2.1-RWS-Body-Condition-Scoring-Guidance.pdf>
- Bricker, L., Reed, K., Wood, L., and Neilson, J. P., 2015. Nutritional advice for improving outcomes in multiple pregnancies. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (11).
<https://doi.org/10.1002/14651858.CD008867.pub3>
- Caldeira, R. M., Belo, A. T., Santos, C. C., Vazques, M. I., and Portugal, A. V., 2007. The effect of long-term feed restriction and over-nutrition on body condition score, blood metabolites and hormonal profiles in ewes. *Small Ruminant Research*, 68(3), pp. 242-255.
<https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2005.08.026>
- Cal-Pereyra, L., Acosta-Dibarrat, J., Benech, A., Da Silva, S., Martín, A., and González-Montaña, J. R., 2012. Toxemia de la gestación en ovejas: Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 3(2), pp. 247-264.
<https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1242>
- Camarasa, J. and Barletta, P., 2019. Densidad y momento de cosecha sobre la producción y la calidad nutricional del ensilaje de maíz. *Revista Argentina de Producción Animal*, 39(1), pp. 99-167.
<http://hdl.handle.net/20.500.12123/6780>
- Castillo, C., Hernández, J., López-Alonso, M., Miranda, M., and Benedito, J. L. 1999. Effect of physiological stage and nutritional management on some serum metabolite concentrations in Assaf ovine breed. *Archives Animal Breeding*, 42(4), pp. 377-386.
<https://doi.org/10.5194/aab-42-377-1999>
- Castillo-Hernández, L., Zaragoza-Esparza, J., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Ramírez-Espinosa, J., de Jesús Macedo-González, J. and Terrazas-García, A., 2024. Potencial alimenticio de ensilados híbridos de maíz Puma incluidos en la dieta de ovejas gestantes. *Revista MVZ Córdoba*, 29(1), pp. e3262-e3262.
<https://doi.org/10.21897/rmvz.3262>
- Djaman, K., Allen, S., Djaman, D. S., Koudahe, K., Irmak, S., Puppala, N., Darapuneni M. K. and Angadi, S. V., 2022. Planting date and plant density effects on maize growth, yield and water use efficiency. *Environmental Challenges*, 6, 100417.
<https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100417>
- Damián, J.P., Terrazas, A., Cabrera, E., Simonetti, S., Aragunde, R. and Fila, D., 2020. Growth of

- foetal bones and metabolic profile during gestation in primiparous ewes and multiparous ewes. *Reproduction in Domestic Animals*, 55(9), pp. 1180–9. <https://doi.org/10.1111/rda.13760>
- Dong-Shen, G., Tang, S.X., 2022. *In vitro* degradation characteristics of dry matter and crude protein of four morphological fractions from five varieties maize harvested at two maturity stages. *Acta Prataculturae Sinica*, 31(10), pp. 178-188.
- Du, Z., Yang, F., Fang, J., Yamasaki, S., Oya, T., Nguluve, D., Kumagai, H. and Cai, Y., 2023. Silage preparation and sustainable livestock production of natural woody plant. *Frontiers in Plant Science*, 14, pp. 1253178. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1253178>
- Dwyer, C. M., Calvert, S. K., Farish, M., Donbavand, J., and Pickup, H. E., 2005. Breed, litter and parity effects on placental weight and placentome number, and consequences for the neonatal behaviour of the lamb. *Theriogenology*, 63(4), 1092-1110. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2004.06.003>
- El-Sherif, M. M. A., and Assad, F. 2001. Changes in some blood constituents of Barki ewes during pregnancy and lactation under semiarid conditions. *Small Ruminant Research*, 40(3), pp. 269-277. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(01\)00174-2](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(01)00174-2)
- Elizondo, J. and Boschini, C., 2001. Efecto de la densidad de siembra sobre el rendimiento y calidad del forraje de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, 12(2), pp. 181-187. <https://doi.org/10.15517/am.v12i2.17231>
- Estrada-Flores, J. G., González-Ronquillo, M., Mould, F. L., Arriaga-Jordán, C. M. and Castelán-Ortega, O. A., 2006. Chemical composition and fermentation characteristics of grain and different parts of the stover from maize land races harvested at different growing periods in two zones of central Mexico. *Animal Science*, 82(6), pp. 845-852. <https://doi.org/10.1017/ASC2006094>
- Firdous, R., and Gilani, A. H., 1999. Effect of stage of growth and cultivar on chemical composition of whole maize plant and its morphological fractions. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 12(3), 366-370. <https://doi.org/10.5713/ajas.1999.366>
- Firat, A., and Ozpinar, A. 2002. Metabolic profile of pre-pregnancy, pregnancy and early lactation in multiple lambing Sakiz ewes. *Annals of Nutrition & Metabolism*, 46(2), pp.57. <https://doi.org/10.1159/000057641>
- Freitas-de-Melo, A., Ungerfeld, R., Hötzel, M. J., Orihuela, A., and Pérez-Clariget, R., 2017. Low pasture allowance until late gestation in ewes: behavioural and physiological changes in ewes and lambs from lambing to weaning. *Animal*, 11(2), pp. 285-294. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001427>
- González-García, E., De Figuereido, V. G., Foulquie, D., Jousserand, E., Autran, P., Camous, S., Tesniere, A., Bocquier, F., and Jouven, M., 2014. Circannual body reserve dynamics and metabolic profile changes in Romane ewes grazing on rangelands. *Domestic Animal Endocrinology*, 46, pp. 37-48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.domaniend.2013.10.002>
- González-García, E., Tesnière, A., Camous, S., Bocquier, F., Barillet, F., and Hassoun, P., 2015. The effects of parity, litter size, physiological state, and milking frequency on the metabolic profile of Lacaune dairy ewes. *Domestic Animal Andocrinology*, 50, pp. 32-44. <https://doi.org/10.1016/j.domaniend.2014.07.001>
- García-Favre, J., Cranston, L.M., López, I.F., Poli, C.H.E.C., Donaghy, D.J., Caram, N., Kemp, P.D., 2023. Pasture brome and perennial ryegrass characteristics that influence ewe lamb dietary preference during different seasons and periods of the day. *Animal*, 17(7), 100865. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100865>
- He, Y., Cone, J.W., Hendriks, W. H., Dijkstra, J., 2020. Relationships between chemical composition and I vitro gas production parameters of maize leaves and stems. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 104(1), pp. 12-21. <https://doi.org/10.1111/jpn.13221>
- Horst, E. H., Bumbieris Junior, V. H., Neumann, M. and López, S., 2021. Effects of the harvest stage of maize hybrids on the chemical composition of plant fractions: An analysis of the different types of silage. *Agriculture*, 11(8), 786. <https://doi.org/10.3390/agriculture11080786>

- Indriani, N. P., Yuwariah, Y. and Ruswandi, D., 2021. The genotype and crop age effect on nutritive value of corn forage. *Indian Journal of Agricultural Research*, 55(3), pp. 374-378. <https://doi.org/10.18805/ijare.a-604>
- Islam, M.R., Garcia, S:C., Horadagoda, A., 2012. Effects of irrigation and rates and timing of nitrogen fertilizer on dry matter yield, proportions of plant fractions of maize and nutritive value and *in vitro* gas production characteristics of whole crop maize silage. *Animal Feed Science and Technology*, 172(2012), pp. 125-135. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.11.013>
- Jones, A. K., Gately, R. E., Kellogg, T. D., Zinn, S. A., Govoni, K. E., and Reed, S. A., 2018. Evaluation of the Nova Vet Meter for sheep-side monitoring of β -hydroxybutyric acid (BHBA) and description of ewe BHBA during late gestation in three flocks from the Northeastern US. *Research in Veterinary Science*, 118, pp., 491-497. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2018.05.002>
- Ji, X., Liu, N., Wang, Y., Ding, K., Huang, S., and Zhang, C., 2023. Pregnancy Toxemia in ewes: a review of Molecular Metabolic mechanisms and Management Strategies. *Metabolites*, 13(2), pp. 149. <https://doi.org/10.3390/metabo13020149>
- Johnson, L. M., Harrison, J. H., Davidson, D., Mahanna, W. C., Shinnars, K. and Linder, D., 2002. Corn silage management: effects of maturity, inoculation, and mechanical processing on pack density and aerobic stability. *Journal of Dairy Science*, 85(2), pp. 434-444. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(02\)74092-7](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(02)74092-7)
- Karnatam, K.S., Mythri, B., Nisa, W.u., Sharma, H., Meena, T.K., Rana, P., Vikal, Y., Gowda, M., Dhillon B.S., Sandhu, S., 2023. Silage maize as a potent candidate for sustainable animal husbandry development-perspectives and strategies for genetic enhancement. *Frontiers in Genetics*, 14, p. 1150132. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1150132>
- Khames Mustafa, M., Shareef Saed, O., and Abdulealah Ismaeel, M., 2023. Clinical and Biochemical Study of Pregnancy Toxemia in Iraqi Ewes. *Archives of Razi Institute*, 78(3), pp. 1131-1139. <https://doi.org/10.22092/ARI.2022.359922.2515>
- Keady, T.W.J. and Hanrahan, J.P., 2021. Effects of grass and maize silage feed value, offering soybean meal with maize silage, and concentrate feed level in late pregnancy, on ewe and lamb performance, *Animal*, 15(1), pp. 100068. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100068>
- Krishnamoorthy, U., Soller, H., Stengass, H. and Menke, H., 1991. A comparative study on rumen fermentation of energy supplements in vitro. *Journal Animal Physiology and Animal Nutrition*, 65(1-5), pp. 28-35. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.1991.tb00237.x>
- Martínez-Gutiérrez, A., Zamudio-González, B., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Cardoso-Galvão, J. C., Vázquez-Carrillo, G. and Turrent-Fernández, A., 2018. Rendimiento de híbridos de maíz grano blanco en cinco localidades de Valles Altos de México. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 9(7), pp.1447-1458. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i7.1357>
- Masoero, F., Rossi, F. and Pulimeno, A. M., 2006. Chemical composition and *in vitro* digestibility of stalks, leaves and cobs of four corn hybrids at different phenological stages. *Italian Journal of Animal Science*, 5(3), pp. 215-227. <https://doi.org/10.4081/ijas.2006.215>
- McDonald, P., Henderson, A. R. and Heron, S. J., 1991. The biochemistry of silage. Ciudad Madison. Editorial Chalcombe Publications, pp. 340. <https://doi.org/10.1017/s0014479700023115>
- Meneses, P. A. H., Anchundia, M. A. M., Hidrovo, C. A. M. and Taipe, M. V. T., 2023. Genotipos de maíz para la producción y conservación de forraje en forma de ensilaje. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria. Pentaciencias*, 5(7), pp. 358-371. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v5i7.946>
- Mohammadi, V., Anassori, E., and Jafari, S., 2016. Measure of energy related biochemical metabolites changes during peri-partum period in Makouei breed sheep. *Veterinary Research Forum*, 7(1), p. 35.

- Mohammadi Barimanloo, A., Chalmeh, A., Pourjafar, M., and Mirzaei, A., 2022. Effects of intravenous butaphosphan and cyanocobalamin to late pregnant ewes on the metabolic indices around parturition and weight gain of their lambs after birth. *Veterinary Medicine and Science*, 8(2), pp. 781-791. <https://doi.org/10.1002/vms3.687>
- Olazábal Fenochio, A., Vera Ávila, H. R., Serafín López, N., Medrano Hernández, J. A., Sánchez Saucedo, H., and Terrazas García, A. M., 2013. Reconocimiento mutuo madre-cría en ovinos Columbia con restricción nutricional durante la gestación. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4(2), pp. 127-147. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/2833>
- Pell, A. N. and Schofield, P., 1993b. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion in vitro. *Journal Dairy Science*, 76, pp. 1063-1073. [http://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(93\)77435-4](http://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(93)77435-4)
- Mendoza, C. P., Gómez, M. D. R. T., de los Santos, G. G., and Galván, M. M. C. (2024). Influencia del tamaño de semilla en la productividad y el valor nutricional del maíz para ensilado. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 41(4), pp. 1016-1031.
- Recabarren, S. E., Lobos, A., Muñoz, P., Calvillán, M., and Parilo, J., 2005. Sensibilidad a la insulina en ovejas prepúberes con alimentación normal y con restricción alimenticia. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 37(2), pp. 111-116. <http://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2005000200004>
- Radchikov, V.F., Sapsaleva, T.L. and Bogdanovich, I.V., 2022. Effect of using whole grain on productivity and physiological state of calves. *Zootechnical Science of Belarus*, 57(2), pp. 36-44. <http://doi.org/10.47612/0134-9732-2022-57-2-36-44>
- Ramírez, G.D.E., Olmos, C.J.J., Peña R.A., Sánchez, D.J.I., Medina, N.E., Gallardo, R.S., Santana, O.I., 2024. Acumulación de materia seca, rendimiento y Calidad nutricional del forraje de híbridos de maíz cosechados a diferentes días después de la siembra. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 15(2): pp. 287-301. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i2.6554>
- Ramírez, O.R., Ramírez, L. R.G. and López G. F., 2002. Factores estructurales de la pared celular del forraje que afectan su digestibilidad. *Ciencia UANL*, 2, pp. 180-189. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/1175>
- Robinson, J. J., 1990. Nutrition in the reproduction of farm animals. *Nutrition Research Reviews*, 3(1), pp. 253-276. <https://doi.org/10.1079/NRR19900015>
- Ruiz C, J., G. Medina, G., I. González A. and H. Flores L., 2013. Requerimientos agroecológicos de los cultivos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias INIFAP, 2 edición. 489 p.
- Russel, A., Doney, J. and Gunn, R., 1969. Subjective assessment of body fat in live sheep. *The Journal of Agricultural Science*, 72(3), pp. 451-454. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100718-1.00007-8>
- Sah, R.P., Chakraborty, M., Prasad, K., Pandit, M., Tudu V. K., Chakravarty M. K., Narayan S. C., Rana M. and Moharana D., 2020. Impact of water deficit stress in maize: Phenology and yield components. *Scientific Reports*, 10(1), pp. 2944. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59689-7>
- Sales, F, Peralta, Ó-A, De Los Reyes, M., Sandoval, C., Martínez-Ros, P., Rojas, C., Gonzáles-Bulnes, A., Parraguez, V.H., 2024. Chronic undernutrition in ovine twin pregnancies abolishes differences in birth weight due to sex: An evaluation of the role of nutritional and antioxidant supplementation. *Animals (Basel)*. 21;14(6), pp. 974. <https://doi.org/10.3390/ani14060974>.
- Sánchez-Hernández, M. Á., Cruz-Vázquez, M., Sánchez-Hernández, C., Morales-Terán, G., Rivas-Jacobo, M. A. and Villanueva-Verduzco, C., 2019. Rendimiento forrajero de maíces adaptados al trópico húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(3), pp. 699-712. <http://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1546>
- SIAP-Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 2022. [online] Available at: https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/ [Accessed March 2024].
- SMN-Servicio Meteorológico Nacional. 2023. [online] Available at: <https://smn.conagua.gob.mx/es/> [Accessed 4 June 2023].

- Skerman, P., 1992. Gramíneas tropicales. Roma. FAO. Pp. 849
- Tygesen, M. P., Nielsen, M. O., Nørgaard, P., Ranvig, H., Harrison, A. P., and Tauson, A. H., 2008. Late gestational nutrient restriction: Effects on ewes' metabolic and homeorhetic adaptation, consequences for lamb birth weight and lactation performance. *Archives of Animal Nutrition*, 62(1), pp. 44-59. <https://doi.org/10.1080/17450390701780276>
- Tadeo-Robledo, Espinosa-Calderón, García-Zavala, Lobato-Ortiz, Gómez-Montiel, Sierra-Macías, Valdivia-Bernal, Zamudio-González, Martínez-Yáñez, López-López, Mora-García, Canales-Islas and Cárdenas-Marcelo, 2016. Tsiri puma, híbrido de maíz para valles altos con esquema de androesterilidad para producción de semillas. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 39(3), pp. 331-3. <https://doi.org/10.35196/rfm.2016.3.331-333>
- Tadeo-Robledo, Espinosa-Calderón, Zaragoza-Esparza, López-López, Canales-Islas, Zamudio-González, Turrent-Fernández, Virgen-Vargas, Sierra-Macías, Gómez-Montiel, Mora-García, Andrés-Meza and Cárdenas-Marcelo, 2021. Tlaoli puma, híbrido de maíz para grano y forraje con androesterilidad y restauración de la fertilidad masculina. *Revista Fitotecnica*, 44(2), pp. 265-267. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.2.265>
- Tang, S.X., Gan, J., Sheng, L.X., Tan, Z.L., Tayo, G.O., Sun, Z.H., Wang, M., Ren, G. P., 2008. Morphological fractions, chemical composition and *in vitro* fermentation characteristics of maize stover of five genotypes. *Animal*, 2(12), pp. 1772-1779. <https://doi.org/10.1017/S1751731108003121>
- Theodorou, M.K., Williams, B.A., Dhanoa, M.S., McAllan, A.B. and France, J.A., 1994. Simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant's feeds. *Animal Feed Science and Technology*, 48(3-4), pp. 185-197. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(94\)90171-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6)
- Tolera, A. and Sundstøl, F., 1999. Morphological fractions of maize stover harvested at different stages of grain maturity and nutritive value of different fractions of the stover. *Animal Feed Science and Technology*, 81(1-2), pp. 1-16. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(99\)00072-3](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(99)00072-3)
- Vannucchi, C. I., Veiga, G. A. L., Silva, L. C. G., and Lúcio, C. F., 2019. Relationship between fetal biometric assessment by ultrasonography and neonatal lamb vitality, birth weight and growth. *Animal Reproduction*, 16, pp. 923-929. <http://dx.doi.org/10.21451/1984-3143-AR2019-0006>
- Van-Soest, P.V., Robertson, J.B. and Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and no starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, pp. 3583-3597. [http://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(91\)78551-2](http://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(91)78551-2)
- Velasco-Macias, S., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Zaragoza-Esparza, J., Canales-Islas, E. and Coutiño-Estrada, B., 2022. Rendimiento de grano, forraje y calidad forrajera de nuevos híbridos de maíz de Valles Altos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(1), pp. 77-87. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i1.2398>
- Villalba, J. J., and Provenza, F. D., 1999. Effects of food structure and nutritional quality and animal nutritional state on intake behaviour and food preferences of sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, 63(2), pp. 145-163. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(98\)00238-X](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(98)00238-X)
- Walne, C. H. and Reddy, K. R., 2022. Temperature effects on the shoot and root growth, development, and biomass accumulation of corn (*Zea mays* L.). *Agriculture*, 12(4), pp. 443. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040443>
- Yahaya, M. S., Kawai, M., Takahashi, J. and Matsuoja, S., 2002. The effect of different moisture contents at ensiling on silo degradation and digestibility of structural carbohydrates of orchard grass. *Animal Feed Science and Technology*, 101(1), pp. 127-133. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(02\)00080-9](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(02)00080-9)
- Zaragoza-Esparza, J., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., López-López, C., García-Espinosa, J. C., Zamudio-González, B., Turrente-Fernández, A. and 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), pp. 101-111.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1403>
- Zardin, P. B., Velho, J. P., Jobim, C. C., Alessio, D. R. M., Haygert-Velho, I. M. P., da Conceição, G. M., and Almeida, P. S. G., 2017. Chemical composition of corn silage produced by scientific studies in Brazil—A meta-analysis. *Semina: Ciências Agrárias*, 38(1), pp. 503-511. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2017v38n1p503>
- Zeynep, D., Mehmet, K. and Arzu, E. T., 2021. Effects of nitrogen fertigation on yield, quality components, water use efficiency and nitrogen use efficiency of silage maize (*Zea Mays L.*) as the second crop. *Journal of Plant Nutrition*, 44(3), pp. 373-394. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1822396>