

Nutritional Evaluation of Eight Transgenic Maize (*Zea mays*) Varieties for Silage Production

Angel Augusto Suazo¹ ; Celia Trejo² 

^{1,2}Zamorano University, Honduras, asuazo@zamorano.edu, ctrejo@zamorano.edu

Abstract — *Forage refers to any plant material used for animal feeding, with species from the Poaceae family being among the most commonly utilized. In this study, eight transgenic maize varieties were evaluated to determine their suitability as fresh forage for silage production. The objective of the research was to assess the nutritional content and quality indicators of eight commercial transgenic maize varieties as fresh forage. The study was conducted at the Zamorano Pan-American Agricultural School. The variables analyzed included carbohydrate, protein, and fat content; energy indicators; ash and dry matter; and fermentation quality indicators. Eight treatments were evaluated: DK-7088 VT3 PRO®, DK-370 VT3 PRO®, DK-390 VT TRIPLE PRO®, BM-790 PRO3®, BM-3063 PRO3®, BM-3066 PRO3®, P-3966WHR®, and P-4082WHR®, with three replicates per treatment, resulting in 24 experimental units randomly distributed in the study plot. A randomized complete block design (RCBD) was used. Data were analyzed using SPSS statistical software (version 23.1) through analysis of variance (ANOVA) and Duncan's multiple range test for mean separation. Significant differences were observed in the following variables: total sugars, digestible neutral detergent fiber, fat, dry matter, crude protein, and soluble crude protein. In terms of energy value, no differences were observed among the transgenic maize varieties.*

Keywords — *Forage conservation, silage, fresh forage, transgenics, nutritional value.*

Evaluación nutricional de ocho transgénicos de maíz (*Zea mays*) para la elaboración de ensilaje

Angel Augusto Suazo¹ ; Celia Trejo² 

^{1,2}Universidad Zamorano, Honduras, asuazo@zamorano.edu, ctrejo@zamorano.edu,

Resumen— El forraje es toda aquella planta utilizada para la alimentación animal. Entre las plantas utilizadas como forraje están las Poaceae. En este estudio, se evaluaron ocho transgénicos de maíz para determinar su idoneidad como forraje fresco para ensilaje. El objetivo de la investigación fue evaluar el contenido nutricional e indicadores de calidad de ocho transgénicos de maíz comercial como forraje fresco. El estudio se llevó a cabo en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Las variables analizadas fueron, contenido de carbohidratos, proteínas, grasas, indicadores de energía, cenizas y materia seca, e indicadores de calidad de fermentación. Se evaluaron ocho tratamientos, DK-7088 VT3 PRO®, DK-370 VT3 PRO®, DK-390 VT TRIPLE PRO®, BM-790 PRO3®, BM-3063 PRO3®, BM-3066 PRO3®, P-3966WHR®, P-4082WHR® con tres repeticiones por tratamiento. Obteniendo 24 unidades experimentales ubicadas aleatoriamente en el lote utilizado. Se empleó un diseño experimental de Bloques Completos al Azar. Los datos fueron analizados en el software estadístico SPSS versión 23.1. utilizando análisis de varianza ANDEVA y separación de medias de Duncan. Se observaron diferencias significativas en las siguientes variables medidas: azúcares totales, fibra detergente neutro digestible, grasa, materia seca, proteína cruda y proteína cruda soluble. En términos de valor energético, los transgénicos de maíz no presentaron diferencias.

Palabras clave—Conservación de forrajes, ensilaje, forraje fresco, transgénicos, valor nutricional

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura y ganadería representan la principal fuente de alimentos para el ser humano, siendo indispensable para la vida debido a que no hay otras fuentes que suplan la demanda energética requerida para su alimentación [1]. Cabe resaltar que, en la agricultura y ganadería se han implementado biotecnologías, logrando intensificar los sistemas de producción. Esto conlleva a una inversión de capital en estructuras agrícolas y pecuarias, con el fin de realizar investigaciones en busca de una mayor eficiencia al momento de producir. Siendo esto de gran ayuda para alcanzar resultados que promuevan sostenibilidad de manera económica, social y ambientalmente de los sistemas de producción.

El maíz (*Zea mays*) es una planta monocotiledónea, perteneciente a la familia de las gramíneas, siendo la más importante de esta familia. Forma parte de la categoría de plantas C4-llamadas así, porque el primer producto de su ruta metabólica

Al realizar fotosíntesis contiene cuatro carbonos, llamado ácido oxalacético las cuales comparadas con las plantas C3 y CAM producen mayor biomasa y carbohidratos por unidad de superficie debido a su alta capacidad fotosintética y alto rango de intensidad lumínica [2].

Entre las plantas utilizadas como forraje están las Poaceae y Leguminosas mayormente. Existen diversos métodos utilizados para forrajes tanto para suministrar en fresco o conservación. El método más utilizado en los forrajes como conservación es el ensilaje.

La planta forrajera más utilizada para ensilar es el maíz. Esto debido a que reúne las mejores características para ensilar comparado con cualquier otra planta forrajera. El maíz aporta una considerable cantidad de carbohidratos solubles optima, materia seca, hasta la capacidad tampón idónea y alta palatabilidad para el ganado bovino lo que hacen al maíz la mejor especie forrajera para ensilar.

Por esta razón se resalta la importancia de conocer los contenidos específicos de los nutrientes presentes en el ensilaje de maíz, ya sea transgénicos, híbridos, o criollos, esto es de suma importancia para que este método de conservación siga evolucionando y ganando terreno en la alimentación animal [3].

El objetivo de la investigación fue evaluar el contenido nutricional e indicadores de calidad como ser: pH, ácido acético, ácido láctico y digestibilidad de la fibra detergente neutro de ocho transgénicos de maíz comercial como forraje fresco.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Ubicación

El estudio se llevó a cabo en el lote “El Espinal” perteneciente a la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano que se ubica a 30 km carretera de Tegucigalpa hacia Danlí, en el Valle de Yegüare parte del municipio de San Antonio de Oriente, Francisco Morazán, Honduras. Se realizó en los meses de junio 2022 a octubre 2022, en un lote de producción agrícola identificado como “El Espinal”. Geolocalizada 13°59'47.92" N y 87°00'49.12" O, en el trópico que comprende el límite latitudinal de las líneas del ecuador a una altura de 800 msnm con una precipitación anual de 1100 mm y una temperatura promedio de 26 °C.

B. Unidades Experimentales

Se evaluaron ocho transgénicos: DK-7088 VT3 PRO®, DK-370 VT3 PRO®, DK-390 VT TRIPLE PRO®, BM-790 PRO3®, BM-3063 PRO3®, BM-3066 PRO3®, P-3966WHR®, P-4082WHR®. Se denominó tratamiento en esta investigación a cada transgénico de maíz, evaluando ocho tratamientos con tres repeticiones por tratamiento; constando de 24 unidades experimentales ubicadas aleatoriamente en el lote utilizado.

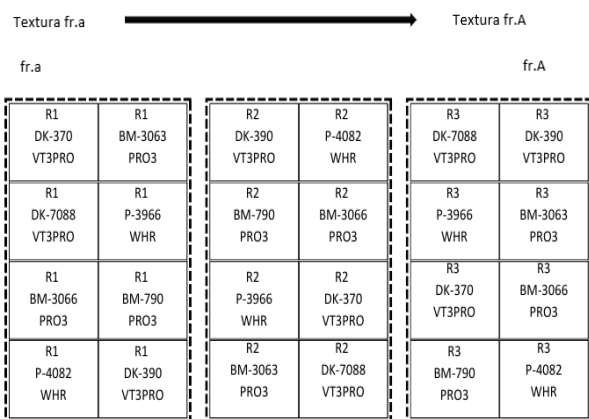
C. Condiciones Experimentales

Cada unidad experimental fue sembrada en el mismo lote de investigación, con una cantidad de 10 semillas/metro lineal, utilizando el fertilizante Triple 15 (15/15/15) y Glifosato para el control de malezas. El riego provisto al cultivo fue de alivio. Al momento de la cosecha se tomaron muestras para realizar los análisis, utilizando los mismos métodos de análisis. Se presentó una variable fuera del control del experimento, que podría haber afectado los resultados de la investigación consecuentemente aumentando el error experimental, esta variable fue la textura del suelo que era heterogénea.

D. Arreglo Espacial del Experimento

El lote de investigación se organizó en bloques completos al azar para disminuir el impacto del factor textural que puede influir en el resultado de los tratamientos evitando el sesgo de los datos.

Cada bloque incluyó una repetición de cada tratamiento evaluado. Se evaluaron para fines de esta investigación ocho tratamientos, realizando tres repeticiones por tratamiento. Siendo así 24 unidades experimentales, distribuidas al azar dentro del área de investigación. Cada repetición constó de un área de cinco metros de longitud y cuatro metros de anchura. Cada repetición tuvo cuatro hileras lineales, cada una sembrada con 10 semillas por metro lineal teniendo 50 semilla por hilera, el distanciamiento entre surcos fue de 0.80 metros.



Nota. Textura: Franco Arcilloso (fr.a)/Franco Arenoso (fr.A);

Bloques: -----

Fig. 1 Distribución aleatorizada en bloques (BCA)

E. Cosecha y Toma de Muestras

La siembra de las semillas de maíz de todos los transgénicos utilizados en esta investigación se realizó el día 11 de junio en el año 2022. La cosecha se realizó en la etapa fenológica R4, es decir $\frac{1}{4}$ grano lechoso $\frac{3}{4}$ grano pastoso por razones de digestibilidad, productividad y estado nutricional de la planta determinado por diversas investigaciones de forraje fresco de maíz. Se cosechó el 12 de octubre del año 2022 a los 93 días de haberse sembrado. Durante el día de cosecha se tomaron 24 muestras, una por cada unidad experimental, conservadas herméticamente en bolsas plásticas de un kilogramo, pesados con una balanza digital modelo Ohaus® CL2000, las cuales se enviaron al laboratorio de la empresa Cargill para analizar contenido nutricional e indicadores de calidad utilizando la técnica espectroscopia de infrarrojo cercana (Near-Infrared: NIR), esta técnica analítica es muy utilizada por la industria de los alimentos por ser rápida, eficiente, confiable y no destructiva.

F. Variables Evaluadas

1) *Azúcar Total*: Se determinó la cantidad de azúcares totales por medio de espectroscopia del infrarrojo cercano (NIR). Los azúcares simples como la glucosa, fructosa y sacarosa de origen vegetal, y la lactosa de origen animal aportan energía rápidamente digerible por microorganismos ácido-lácticos ya que estos entran en contacto fácilmente con ellos permitiéndoles aprovecharlos por su sencilla estructura química.

2) *Almidón Ajustado*: Para determinar el contenido de almidón ajustado se realizó por medio de cálculo. Es fuente de alimento para que las bacterias ácido-lácticas colonicen y predominen entre los organismos del ensilaje produciendo elevadas concentraciones de ácido láctico para consecuentemente llevar a este a un pH óptimo (3.8-4.2) en el menor tiempo para mantener la calidad nutricional y organoléptica del ensilaje igual o similar comparado al forraje fresco.

3) *Fibra Detergente Neutro (FDN)*: Para obtener la cantidad de fibra detergente neutro se realizó mediante calculo. Las fibras neutro-detergentes disminuyen el ritmo de paso de los sustratos en el rumen estimulando así la rumia, masticación y aumento en la salivación del alimento provocando así que estabilicen el pH del rumen y regulen el ritmo de tránsito de los sustratos [4].

4) *Fibra Detergente Ácido (FDA)*: Se obtuvo el resultado de FAD por medio de NIR. La fibra detergente ácido está compuesta por lignina y celulosa. Esta es la parte insoluble de la fibra y que tiene importancia en la calidad de fermentación en el rumen [5].

5) *Lignina*: Se determino el contenido de lignina por medio de NIR. La lignina es el único componente de la fibra que es indigestible en el tubo digestivo de los rumiantes.

Debido a que este necesita de oxígeno para que se pueda llevar a cabo la hidrólisis y digestión de este, y como sabemos el ambiente de fermentación del rumen es anaerobio [6].

6) *Fibra Detergente Neutro digestible (FDNd)*: Se determinó la fibra detergente neutro digestible por medio de cálculo. Mientras que la FDN es la porción de carbohidratos estructurales (pared celular) sobre la materia seca, la fibra detergente neutro digestible es cuanto de esa porción es digestible.

7) *Digestibilidad de la Fibra Detergente Neutro (DFDN)*: Se determinó la NDFD por medio de cálculo. Es la porción de FDN al que se le ha modificado la complejidad de su estructura bioquímica al ingresar y pasa por el rumen, es decir cuanto porcentaje de la FDN tuvo un cambio después de transitar por el aparato digestivo del rumiante.

8) *Potencial de Hidrógeno (pH)*: Se determinó por medio de NIR. Se mide de 1-14, este valor es un indicador de calidad de biomasa para ensilar. El pH también es un índice de acidez dentro de un sustrato en específico. En un forraje fresco el pH es un indicador de calidad de biomasa a ensilar. Se busca en un ensilaje de maíz que el pH llegue y se mantenga entre 3.8 y 4.2%, sin embargo, para llegar a ese nivel de acidez deben pasar procesos fermentativos que disminuyan los puntos de pH. Se espera cosechar forraje fresco de maíz entre un pH de 5 a 5.5 [7].

9) *Ácido Láctico*: Se obtuvo el contenido de ácido acético por medio de NIR. Es el principal compuesto que producen las bacterias ácido-lácticas debido a que desdoblan los azúcares simples como la glucosa para la producción de ácido láctico [8].

10) *Ácido Acético*: Se determinó el contenido de ácido acético por medio de NIR. De las principales funciones del ácido acético en el forraje de maíz es disminuir el pH reduciendo la acción de fermentaciones indeseables por microorganismos como los clostridios y coliformes [8].

11) *Ácido Propiónico*: Se obtuvo el contenido de ácido propiónico por medio de NIR. Es un ácido graso volátil perteneciente a la categoría de fermentaciones indeseables provocadas por bacterias indeseables.

12) *Grasa*: Se obtuvo por medio de NIR. Los ácidos grasos son las unidades estructurales de los lípidos forman que a su vez forman parte de uno de los cuatro grupos de biomoléculas que proveen energía. En la planta los ácidos grasos se almacenan principalmente en el fruto [9].

13) *Energía Neta de Lactancia (Mcal/kg)*: La energía neta de lactancia es la cantidad de energía expresada en mega calorías por unidad de peso, se obtuvo mediante cálculo en base a la cantidad de energía contenida por litro de leche. Se usó la fórmula 1 para determinar la energía neta de lactancia:

$$\text{ENL (Mcal/kg)} = (0.0929 \times \% \text{ Grasa}) + (0.0547 \times \% \text{ Proteína}) + (0.0395 \times \% \text{ Lactosa}) \quad [1]$$

Un forraje es considerado de alta calidad para vacas en lactancia cuando provee 1.5 Mcal/kg [10].

14) *Total de Nutrientes Digeribles*: Es el porcentaje en base al total de biomasa del forraje fresco digerible por el rumiante. Por lo que actualmente se enfoca mayormente en la calidad aprovechable del sustrato introducido en la dieta alimenticia más que la cantidad dentro de la dieta. La digestibilidad de forrajes frescos de maíz en promedio es de 65% [11]. Se usó la fórmula 2 para determinar el total de nutrientes digeribles:

$$\% \text{ TDN} = \% \text{ proteína cruda digerible} + \% \text{ fibra cruda digerible} + \% \text{ extracto etéreo libre de nitrógeno digerible} + (\% \text{ grasa} \times 2.25) \quad [2] \quad (1)$$

15) *Proteína Cruda*: Se determinó la cantidad de proteína cruda mediante NIR. La proteína abarca entre un 75 a 90% del total de nitrógeno en una planta al momento de cosecha, justo después empieza la hidrólisis de proteínas a aminoácidos, aunque también en presencia de oxígeno ocurre degradación de las proteínas por enzimas descarboxilasas y bacterias proteolíticas de la planta lo que es totalmente dañino que consecuentemente provoca fermentaciones que causa malos olores y sabores desagradables para los rumiantes, que se refleja en el rechazo del ensilaje. Las proteínas en un ensilaje son importantes ya que proveen alimento a los microorganismos del rumen.

16) *PC soluble*: Proteína cruda soluble se le denomina a la parte de la proteína cruda que es soluble en una sustancia Buffer. La proteína soluble no tiene correlación con la proteína degradable, esto está influenciado por el tránsito en el rumen y el origen de los componentes de la proteína (amoniaco, péptidos, NNP y aminoácidos). Se usó la fórmula 3 para determinar la proteína cruda soluble:

$$\text{PC soluble} = \% \text{ nitrógeno} \times 6.25 \quad (3) \quad (2)$$

17) *Materia Seca*: Se obtuvo la cantidad de MS mediante el método de química húmeda. La materia seca es la parte del forraje fresco que no es agua expresado en porcentaje. Está compuesta por carbohidratos, nitrógeno proteico y no proteico, cenizas, y grasa en mayor parte. La materia seca es sumamente determinante en la calidad de un ensilaje tanto en calidad fermentativa como en su calidad nutricional. Para ensilajes de maíz se estipula que los forrajes rondan entre 30 a 35% de materia seca, mientras que otros autores amplían el rango de 32 a 40% [12].

17) *Ceniza*: Se obtuvo el contenido de ceniza mediante química húmeda. La ceniza es el residuo inorgánico que se preserva al quemar un alimento (sustrato) a una temperatura promedio de 550 a 600 °C, todo el material orgánico es transformado a estas temperaturas. Las cenizas comprenden

los minerales de un alimento que no se han perdido por volatilización a temperaturas anteriormente mencionadas. El análisis de cenizas es un indicador del contenido mineral de un forraje fresco.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de los transgénicos reveló en algunas variables medidas diferencias significativas en su contenido nutricional. En la tabla I se muestran los contenidos de carbohidratos en los que se observan diferencias en las variables de azúcares totales y fibra detergente neutro digestible.

TABLA I
CONTENIDO DE CARBOHIDRATOS EN FORRAJE FRESCO DE
OCHO TRANSGÉNICOS DE MAÍZ (ZEA MAYS) AL SER
COSECHADOS EN ESTADO FENOLÓGICO R4

Tratamiento	Variables medidas (%)						
	AT	AA	FDN	FNDd	FDA	DFDN (%NDF)	Lignina
DK-7088	13.18ab	27.09	46.33	23.76ab	25.79	51.41	4.51
DK-390	13.64ab	26.67	47.04	23.99a	26.96	51.19	4.31
DK-370	15.21a	26.99	47.72	24.81a	26.97	52.25	4.36
BM-3066	11.36b	27.54	44.95	23.70ab	24.86	52.85	4.56
BM-790	11.17b	27.54	46.52	23.54ab	26.05	50.63	4.87
BM-3063	12.76ab	30.53	39.68	20.96b	21.35	52.94	3.71
P-4082WHR	14.81a	28.40	45.64	23.58ab	25.99	51.74	4.43
P-3966WHR	14.04ab	29.78	43.20	22.73ab	23.49	52.80	3.74
EE±	0.88	1.58	2.57	0.89	2.07	1.59	0.41
Valor P	0.04	0.61	0.45	0.02	0.55	0.95	0.50

Nota. AT: Azúcar Total; AA: Almidón ajustado; FDN: Fibra Detergente Neutro; FNDd: Fibra Detergente Neutra Digestible; FDA: Fibra Detergente Ácida; DFDN (% FND): Digestibilidad de la Fibra Detergente Neutro (%Fibra Detergente Neutro)

A. Azúcar Total

Se presentó diferencia ($P \leq 0.05$) para la variable de azúcar total entre los tratamientos DK-370, P-4082WHR con los transgénicos BM-3066, BM-790.

Los azúcares proporcionan energía a la dieta, pero debido a que están en menor proporción que los almidones en el grano de maíz su aporte es mucho menor, esto debido a que el grano almacena carbohidratos solubles de reserva. Los principales azúcares en la planta de maíz son la sacarosa, fructosa, glucosa. Un forraje es considerado con un alto valor de azúcares cuando supera el 6% de azúcares solubles sobre la materia seca, los resultados de este estudio sobrepasan ese valor [13].

B. Almidón Ajustado

No existieron diferencias ($P > 0.05$) entre los tratamientos al comparar el porcentaje de almidón ajustado sobre la materia seca. El tratamiento que obtuvo los mayores resultados según la aritmética fue el BM- 3063, teniendo como resultado 30.53% de la materia seca total.

Según ref. [14], después de analizar 250,000 muestras de ensilados de maíz, el rango de almidón fue de 24.3 a 39.3% sobre la materia seca y el promedio fue de 31.8%. Mientras

que [15], en el trópico alto colombiano obtuvo un rango de almidón de 11.9 a 18.5% sobre la materia seca al evaluar tres cultivares diferentes de maíz no transgénico. [16], encontraron rangos de 28.7 y 37.2 en Estados Unidos en maíz al ser cosechado en 1/4 y 2/3 de línea de leche, respectivamente.

C. Fibra Neutro Detergente

No se observaron diferencias ($P > 0.05$) en la fibra detergente neutro entre los tratamientos. A mayor contenido de FDN menor consumo de alimento del ganado bovino. Contenidos de FDN mayores a 55% afectan el consumo de materia seca del rumiante [17].

Una investigación realizada en México con diferentes variedades de maíz no transgénico [18], tuvo como media de FDN $63.37 \pm 2.36\%$ encontrándose los valores de la presente investigación son inferiores a los mencionados lo cual aumenta el consumo de MS. Para los valores de FDN [19], al analizar ensilados de maíz en Brasil obtuvieron valores que se encontraron en 49.10 y 68% estos valores son mayores a los obtenidos en este estudio. En estudios realizados para alimentación bovina se obtuvieron los siguientes resultados en fibra neutro detergente para algunos transgénicos evaluados en este estudio. Ref. [20], el BM-3063 obtuvo valores de 54.34% difiriendo con los valores obtenidos, siendo mayores a los de este estudio. En la investigación realizada por [21] en el BM-3066 obtuvieron valores de 35.1%, siendo inferiores a los de nuestro experimento. El transgénico BM-790 según [22], presentó un valor de 49.73%. Un estudio realizado en Zamorano por [23], mostró valores de 53.94% en el transgénico P-4082WHR.

D. Fibra Detergente Neutro Digestible (FNDd)

En la variable de la fibra neutro detergente digestible se encontraron diferencias ($P \leq 0.05$) entre los tratamientos. Los tratamientos DK-370, Dk-390 tuvieron diferencia con el transgénico BM-3063. La fibra neutro detergente digestible es cuanto de la porción de FDN es digestible y consecuentemente aprovechable en el aparato digestivo de los rumiantes [14].

E. Fibra Detergente Ácido (FDA)

No se encontraron diferencias sobre la variable medida de FDA ($P > 0.05$) al comparar la variación en las medias de todos los tratamientos. Una investigación realizada en México [24], tuvo una media de 25% de FDA sobre la FDN en los híbridos de maíz del experimento. Al ser comparados con los resultados de esta investigación se determina que fueron resultados similares y dentro del rango. La razón de tener altos porcentajes de fibra ácido detergente es por la celulosa ligada a la lignina que a su vez disminuye la digestibilidad del forraje.

F. Digestibilidad de la Fibra Neutro Detergente (DFDN)

Los resultados obtenidos sobre la variable no tuvieron diferencia ($P > 0.05$) entre los tratamientos. En un estudio [20], obtuvo valores de 49.63%-50.64% para los tratamientos

que evaluaron, siendo similares a los resultados de esta investigación. Ref. [25], obtuvo valores similares dentro de un rango de 51.44% a 68.05%.

Una baja digestibilidad en la fibra neutro detergente se debe a altos porcentajes de FAD ya que compuestos ligados a la lignina son de baja digestibilidad. [26], menciona que el porcentaje de lignina y FAD han sido utilizados para estimar la digestibilidad de fibra neutro detergente y el total de nutrientes digeridos en forraje fresco. [27], la etapa fenológica del maíz afecta la digestibilidad pudiendo disminuir hasta un 40% de a lo largo de su ciclo productivo.

G. Lignina

No se observaron diferencias ($P > 0.05$) entre las medias de los tratamientos de la variable medida de lignina. [28], menciona que a mayor contenido de fibra detergente ácido mayor será la concentración de lignina y por consiguiente menor será el aprovechamiento por el animal. Valores mayores a 5% sobre la materia seca de lignina en forrajes frescos afectan la digestibilidad. Existen híbridos que presentan el gen BMR que expresan mayor digestibilidad de la FND debido a que tienen menor contenido de lignina en comparación con otras variedades de maíz que no tienen ese gen [3]. En un estudio [21], reportó para el BM-3066 medias de lignina de 4.1%. Mientras que [22], presentó valores de 4.17% de lignina para el BM-790.

En la tabla II se puede observar los distintos parámetros para determinar la calidad de la fermentación del forraje fresco en el proceso de ensilaje. Estos datos fueron tomados en fresco sin haber pasado por un proceso de fermentación.

TABLA II
CALIDAD DE FERMENTACIÓN EN FORRAJE FRESCO DE OCHO
TRANSGÉNICOS DE MAÍZ (ZEA MAYS) AL SER COSECHADOS EN
ESTADO FENOLÓGICO R4

Tratamiento	Variables medidas			
	pH	Ácido Láctico (%)	Ácido Acético (%)	Ácido Propiónico (%)
DK-7088	5.22	2.44	0.66	0.55
DK-390	5.16	2.42	0.84	0.55
DK-370	5.34	2.50	0.54	0.43
BM-3066	5.56	2.55	0.90	0.41
BM-790	5.15	2.33	0.92	0.58
BM-3063	5.06	2.86	0.99	0.48
P-4082WHR	5.30	2.40	0.53	0.44
P-3966WHR	5.06	2.60	1.01	0.54
EE±	0.16	0.21	0.21	0.63
Valor P	0.40	0.73	0.53	0.40

H. Potencial de Hidrógeno (pH)

No se observaron diferencias ($P > 0.05$) las muestras fueron evaluadas en materia fresca. El BM-3066 obtuvo el índice más alto de pH con 5.56. Los tratamientos BM-3063 y P-3966WHR obtuvieron el mismo índice, este fue de 5.06 que está dentro del rango normal de pH de materia fresca. [29], los rangos de pH obtenidos en su estudio estuvieron en el rango similar de pH siendo estos de 5-5.5 en maíz utilizado para elaborar ensilaje. Índices de pH mayores a 5.5 en forrajes frescos de maíz podrían complicar el proceso de ensilar, ya

que altos niveles de pH proporcionan una acidez óptima para que microorganismos perjudiciales colonicen y predominen en el forraje de maíz.

I. Ácido Láctico

El contenido de ácido láctico de cada tratamiento no tuvo diferencia ($P > 0.05$). Las concentraciones mínimas idóneas de ácido láctico en un ensilaje de maíz están entre 1.5 a 2% [8]. Un estudio que analizó el contenido de ácido láctico en ensilaje de maíz sin inóculos comerciales [30], tuvo valores de 1.94%, siendo menores a los de este experimento. La relación de ácido láctico frente a otros ácidos orgánicos fermentables debe de ser mayor a 3:1, aunque es poco común encontrar una relación antes de ensilar y conservar el forraje fresco de maíz. Para aumentar la proporción de ácido láctico se usa inóculos homofermentativos como el *Lactobacillus plantarum*.

J. Ácido Acético

La variable de ácido acético no presentó diferencia ($P > 0.05$) al ser comparada la media entre tratamientos. El porcentaje deseable de ácido acético en un forraje fresco de maíz debe ser entre 1.5 a 2%, cuando las concentraciones llegan a 6% se considera altamente perjudicial [8]. El porcentaje de ácido acético en comparación con el total de ácidos grasos volátiles no debe superar el 20% para que sea considerado un valor idóneo de ácido acético tal y como lo reportó [31]. El ácido acético presenta mayores niveles en el forraje fresco en las primeras dos fases del procesamiento de conservación, el ácido acético tiene menor poder de reducción de pH en comparación con el ácido láctico, se presenta mayormente en forrajes con un pH de 5-6, es producto de fermentaciones de microorganismos hetero fermentativos. Si sus niveles se mantienen en los recomendados aumenta la digestibilidad del ensilaje.

K. Ácido Propiónico

No se observó diferencia ($P > 0.05$). El ácido propiónico es considerado un producto de fermentaciones indeseables ya que es un sustrato muy apetecido por mohos, bacterias del género *Clostridium* que reducen significativamente la calidad de los ensilados y aceptación del ganado bovino

En la etapa aerobio del procesamiento de ensilajes el ácido propiónico tiene su pico de producción por lo que es importante que el tiempo de conservación de forrajes debe realizarse en el menor tiempo posible para evitar un aumento en la producción de este tipo de ácido graso volátil indeseable en el ensilaje [32]. Contenidos desmedidos de ácido propiónico provoca olor y sabor a vinagre al igual que el ácido acético [11].

En la tabla III muestra las variables energéticas dentro del forraje fresco de maíz donde se observa diferencia en los contenidos de grasas en el forraje fresco de los transgénicos de maíz.

TABLA III
 CALIDAD DE GRASA/ MISCELÁNEO EN FORRAJE FRESCO DE
 OCHO TRANSGÉNICOS DE MAÍZ (ZEA MAYS) COSECHADO EN
 ESTADO FENOLÓGICO R4.

Tratamiento	Variables medidas	
	Grasa (%)	ENL (Mcal/ kg)
DK-7088	1.61ab	1.44
DK-390	1.78ab	1.43
DK-370	1.48b	1.44
BM-3066	1.77ab	1.46
BM-790	1.67ab	1.43
BM-3063	2.06a	1.54
P-4082WHR	1.61ab	1.45
P-3966WHR	1.75ab	1.51
EE±	0.15	2.02
Valor P	0.02	0.58

Nota. NEL (Mcal/kg): Energía Neta de Lactancia (Mega calorías/
 Kilogramo); TDN: Total de Nutrientes Digeribles

L. Grasa

Se obtuvo el mayor porcentaje en el transgénico BM-3063 y el menor porcentaje en el transgénico DK-370, mostrando así una diferencia entre sí ($P \leq 0.05$). Ref. [33], las grasas aportan altos contenidos de energía dentro de cualquier alimento ya que proveen 9 kcal/g, lo que representa 2.2 veces más que los carbohidratos y proteínas. [9], menciona que dentro de una planta de maíz las grasas se concentran y están en mayor proporción en el germen del grano. Debido a la etapa de cosecha del forraje fresco de maíz (R4) el germen del grano no está lo suficientemente desarrollado y por eso se muestran los bajos valores en el ensilaje de maíz. El rango de grasas de los transgénicos evaluados se mantuvo entre 1.48 y 2.06% sobre la materia seca. [22], presentó un valor de 3% de extracto etéreo para el transgénico BM-790. [23], obtuvo un valor de 5.16% para el transgénico P-4082WHR. Los dos estudios anteriores presentaron valores de grasas mayores a los de este estudio. Estas diferencias se atribuyen a la época, lugar, contenido de materia seca y manejo que se le dio al cultivo de maíz en cada investigación.

M. Energía Neta de Lactancia

No hubo diferencia ($P > 0.05$) al comparar la media de los transgénicos del valor de energía neta de lactancia (NEL). Un forraje es considerado de alta calidad para vacas en lactancia cuando provee por lo menos 1.5 Mcal/kg [10]. El transgénico BM-3063 es el único que supera el rango de 1.5 Mcal/kg (1.54 Mcal/kg). En ganado bovino utilizado para la producción lechera es de suma importancia conocer el aporte ENL provisto por los forrajes utilizados en la alimentación, teniendo así información que ayudara a tener una formulación certera y eficiente para la obtención de una cantidad esperada de litros de leche por vaca.

N. Total de Nutrientes Digeribles (TND)

No se obtuvieron diferencias ($P > 0.05$) al comparar el valor de las medias de los tratamientos en total de nutrientes digeribles (TND). [11], menciona que la digestibilidad de forrajes frescos de maíz es en promedio 65%. La

digestibilidad del total de nutrientes en un forraje aumenta cuando los niveles de carbohidratos estructurales son bajos y los valores de digestibilidad de proteína y carbohidratos solubles es alta.

En la tabla IV se observan variables importantes para determinar la cantidad minerales presentes en el forraje fresco de maíz de los transgénicos como también el contenido de MS el cual presento diferencias.

TABLA IV
 CONTENIDO DE MATERIA SECA Y CENIZA EN FORRAJE FRESCO
 DE OCHO TRANSGÉNICOS DE MAÍZ (ZEA MAYS) AL SER
 COSECHADOS EN ESTADO FENOLÓGICO R4

Tratamiento	Variables medidas (%)	
	Materia Seca	Ceniza
DK-7088	22.91b	6.03
DK-390	24.13ab	6.07
DK-370	24.39ab	5.76
BM-3066	23.77ab	5.92
BM-790	25.56ab	5.97
BM-3063	27.22a	6.00
P-4082WHR	24.04ab	5.84
P-3966WHR	25.28ab	5.60
EE±	1.18	0.26
Valor P	0.03	0.91

O. Materia Seca

Se obtuvieron diferencias ($P \leq 0.05$) siendo el transgénico BM-3063 el que obtuvo el mayor porcentaje de materia seca. Sin embargo, no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos BM-3063, DK-390, DK-370, BM-3066, BM-790, P-4082WHR, P-3966WHR. En el tratamiento BM-3063 se encontró diferencia con el transgénico DK-7088. [20], tuvieron resultados de 35.27% de materia seca en el transgénico BM-3063. [34], los contenidos de materia seca en los ensilajes de maíz variaron entre 22.0 y 39.6% en la investigación que realizaron. En este estudio se observó que los valores obtenidos de los tratamientos se encuentran dentro del rango.

P. Ceniza

No existió diferencia ($P > 0.05$), en el complejo de minerales denominado ceniza al compararse la media de los tratamientos mediante análisis de pruebas Duncan. Las cenizas aportan minerales esenciales para el sano equilibrio de procesos dentro del organismo de los rumiantes, además es de suma importancia dentro del crecimiento y desarrollo de la planta de maíz. [21], obtuvo valores de 4.8% en el transgénico BM-3066. Un estudio [20], determinó valores en sus resultados de 4.44% de cenizas en el BM-3063. Mientras [23], tuvo un valor de 2.7% de cenizas en el P-4082WHR. Siendo los valores de ceniza en esta investigación mayores a los de los estudios descritos anteriormente. El tipo de clima tiene un efecto importante en el contenido de cenizas de forrajes frescos de maíz, ya que un estudio [35], en dos ecorregiones de Colombia, una fría otra cálida tuvo

diferencias en el contenido de cenizas siendo de 7.6% para clima frío y de 3.7% para clima cálido.

En la tabla V se observan variables proteicas de los transgénicos de maíz y en ambas variables se presentaron diferencias significativas.

TABLA V
 CALIDAD DE PROTEÍNA EN FORRAJE FRESCO DE OCHO
 TRANSGÉNICOS DE MAÍZ (ZEA MAYS) AL SER COSECHADOS EN
 ESTADO FENOLÓGICO R4

Tratamiento	Variables medidas (%)	
	Proteína Cruda (PC)	PC Soluble
DK-7088	7.82 ^{abc}	43.58 ^{abc}
DK-390	7.48 ^b	43.16 ^{bc}
DK-370	7.02 ^c	49.31 ^{ab}
BM-3066	8.50 ^{ab}	40.02 ^c
BM-790	6.99 ^c	40.05 ^c
BM-3063	9.20 ^a	44.14 ^{abc}
P-4082WHR	6.85 ^c	49.76 ^a
P-3966WHR	7.46 ^{bc}	44.71 ^{abc}
EE±	0.44	1.96

Nota. PC soluble: Proteína cruda soluble (% Proteína cruda)

Q. Proteína Cruda

En variables medidas de contenido y calidad de proteína se analizó la proteína cruda. En proteína cruda se presentaron diferencias entre los tratamientos BM-3063 comparado con el DK-390 y este presentó diferencia con los tratamientos DK-370, BM-790, P-4082WHR.

Ref. [18], sobre proteína cruda en forraje de maíz, obtuvo una media de $7.37 \pm 1.37\%$, lo que indica que los resultados obtenidos en proteína cruda en esta investigación fueron similares. Al igual que en otras variables el clima tiene un efecto sobre la proteína cruda en un forraje fresco de maíz. En Colombia los investigadores [35], definieron que el contenido de proteína cruda se ve influenciado por el tipo de clima, en un clima frío se tuvo valores de 10.5% y en clima cálido presento valores de 7.1% que concuerdan con la mayoría de transgénicos de este estudio que fueron realizados en clima cálido aunque en este estudio se obtuvieron mayores valores, determinando así el alto valor de estos transgénicos en proteína cruda para un clima cálido como Zamorano.

R. Proteína Cruda Soluble

En la variable medida de PC soluble se observó diferencias ($P \leq 0.05$) entre el tratamiento P-4082WHR con el transgénicos DK-390 y con los tratamientos BM-3066, BM-790. Claramente se busca que las especies forrajeras a ensilar tengan una alta calidad de sus componentes a base de nitrógeno para que la degradabilidad de la proteína soluble o nitrógeno no proteico se lo más alto posible [36].

IV. CONCLUSIONES

El porcentaje de azúcar total y fibra detergente neutro entre los transgénicos DK-370, DK-390, P-4082WHR

difirieron en sus contenidos con los transgénicos BM-3063, BM-3066, BM-790. Estos resultados indican que algunos transgénicos presentan diferencias en su contenido de carbohidratos, lo cual puede ser determinante en su idoneidad para ensilar.

En términos de valor energético, los transgénicos de maíz no presentaron diferencias, lo cual es importante considerar al seleccionar transgénicos para su uso en el ensilaje y para fines de formulación de dietas en rumiantes.

Se presentó variación en el contenido de proteína cruda y porcentaje de proteína cruda soluble entre los transgénicos BM-3063, DK-390, P-3966WHR, DK-370, BM-790, P-4082WHR.

RECOMENDACIONES

Realizar una investigación sobre la caracterización agronómica de estos ocho transgénicos de maíz (peso de la planta, relación planta mazorca, número de hojas, diámetro del tallo, altura de la planta, etc.).

Comparar la composición nutricional y parámetros fisicoquímicos entre el forraje de los transgénicos de maíz recién cosechado y de maíz ya conservado en forma de ensilaje.

AGRADECIMIENTO

Al Ingeniero Fines Abdiel Meléndez Rodríguez y el Ingeniero Jose Rafael Williams Amador quienes colaboraron en el mantenimiento, observación y recolección de datos durante el periodo de investigación.

REFERENCIAS

- [1] Food and Agriculture Organization of, *Statistical Yearbook 2022: World Food and Agriculture*. Roma: FAO, 2022.
- [2] P. Bolufer, *La fotosíntesis C4, de alto rendimiento*. [Online]. Available: <https://www.interempresas.net/Agricola/44231-La-fotosintesis-C4-de-alto-rendimiento.html> (accessed: Apr. 7 2023).
- [3] G. J. Depetris, *Valor nutricional del grano y ensilaje de maíz en la alimentación de bovinos para carne*. [Online]. Available: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/47597/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y (accessed: Apr. 7 2023).
- [4] R. F. García-Castillo, Z. J. Castillo-Sánchez, and J. R. Kawas-Garza, "Producción, evaluación química, contenido energético, carbohidratos estructurales y no estructurales y digestibilidad in vitro en maíz forrajero," *Rev. Fac. Agron.*, no. 30, pp. 573–590, 2013. [Online]. Available: https://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/octubre_diciembre2013/v30n4a2013573590.pdf
- [5] F. Soto-Bravo and C. Ramírez-Viquez, "Efecto de la nutrición mineral en el rendimiento y las características bromatológicas del forraje verde hidropónico de maíz," *Pastos y forrajes*, vol. 41, no. 2, pp. 106–113, 2018. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/2691/269158214004/html/>
- [6] Á. Bach and S. Calsamiglia, *La fibra en los rumiantes: ¿química o física?* [Online]. Available: https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/100-fibra_en_rumiantes.pdf (accessed: Jul. 6 2023).
- [7] A. Narváe, "Efecto aplicación de inoculantes sobre la efecto de la aplicación de inoculantes sobre las características microbianas a los 60 días de ensilaje de maíz forrajero (Zea mayz L). Mocache, Ecuador 2013," Tesis de grado, Universidad Técnica Estatal de Quevedo,

- Ecuador, 2013. Accessed: Apr. 28 2026. [Online]. Available: <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/a8add343-78ac-4794-a284-1fe80f6dcadc>
- [8] R. D. Filippi, *Conceptos básicos en la elaboración de ensilajes*. [Online]. Available: https://praderasypasturas.com/files/menu/catedras/produccion_de_leche/2011/05_Elaboracion_de_Ensilaje.pdf (accessed: Jul. 17 2023).
- [9] P. Reyes, *El maíz y su cultivo*. México: AGT Editor, 1990. Accessed: Jul. 6 2023.
- [10] G. Núñez Hernández, K. Rodríguez-Hernández, J. A. Granados-Niño, A. Anaya Salgado, and U. Figueroa-Viramontes, "Calidad nutricional y utilización de forrajes en explotaciones lecheras en la Región Lagunera," *AGROFAZ*, vol. 14, pp. 33–41, 2014. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/328539480_Calidad_nutricional_y_utilizacion_de_forrajes_en_explotaciones_lecheras_en_la_Region_Lagunera_Forage_Quality_And_Utilization_In_Dairy_Farms_In_The_Region_Lagunera
- [11] M. Hiriat, *Ensilados: Procesamiento y calidad*, 2nd ed. México: Trillas, 2008. Accessed: Apr. 28 2026. [Online]. Available: https://etrillas.mx/libro/ensilados_6513
- [12] G. Pigurina and E. Gomár, *Momento de cosecha de maíz para ensilar*. Montevideo: Unidad de Difusión e Información Tecnológica del INIA, 1994.
- [13] J. H. Torres P., "Comparación de tres tipos de ensilaje (maíz, sorgo, y caña de azúcar) en la producción de leche: Revisión de literatura," Proyecto Especial de Graduación, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, 2020. Accessed: Jul. 8 2023. [Online]. Available: <https://bdigital.zamorano.edu/items/5404f18d-fea1-417f-9228-cf6bb70d51ec>
- [14] F. Díaz Royón, *Importancia de la calidad en los forrajes en dietas de alta producción*. [Online]. Available: <https://dellait.com/wp-content/uploads/2020/05/32-RF-Importancia-de-la-calidad-en-los-forrajes-en-dietas.pdf> (accessed: Jun. 4 2023).
- [15] E. A. Mancipe-Muñoz, J. Castillo-Sierra, J. d. J. Vargas-Martínez, and Y. Avellaneda-Avellaneda, "Calidad composicional del ensilaje de tres cultivares de maíz (*Zea mays*) del trópico alto colombiano," *Agron. Mesoam.*, vol. 33, no. 2, p. 46412, 2026, doi: 10.15517/am.v33i2.46412.
- [16] L. M. Johnson, J. H. Harrison, D. Davidson, W. C. Mahanna, and K. Shinnors, "Corn silage management: effects of hybrid, maturity, inoculation, and mechanical processing on fermentation characteristics," *Journal of dairy science*, vol. 86, no. 1, pp. 287–308, 2003, doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73607-8.
- [17] L. Candia, "Vista de Evaluación de la Calidad Nutritiva de Forraje Verde de Cebada *Hordeum vulgare* Hidropónico, fertilizado con soluciones de guano de Cuy *Cavia porcellus* a dos concentraciones," *Revista Salud y Tecnología Veterinaria*, no. 2, pp. 55–62, 2014. [Online]. Available: <https://revistas.upch.edu.pe/index.php/STV/article/view/2202/2177>
- [18] G. Núñez Hernández, J. A. Payán García, A. Pena Ramos, F. González Castañeda, O. R. Barrera, and C. Arzola Alvarez, "Caracterización agronomía y nutricional del forraje de variedades de especies anuales en la región norte de México," *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, vol. 1, no. 2, pp. 85–98, 2010. [Online]. Available: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v1n2/v1n2a1.pdf>
- [19] J. Y. Mizubuti *et al.*, "Consumo e Digestibilidad Aparente das Silagens de Milho (*Zea mays* L.), Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e Girassol (*Helianthus annuus* L.)," *R. Bras. Zootec.*, vol. 31, no. 1, pp. 267–272, 2002, doi: 10.1590/S1516-35982002000100029.
- [20] G. de Lima Macedo Junior, L. Marcos, L. Fernandes Sousa, C. Moreira Araújo, T. Soares de Assis, and L. Ferrari Monteiro Varanis, "Avaliação de diferentes híbridos de milho (*Zea mays*) utilizados para produção de silagem: consumo, digestibilidade e produção de ovinos," *Veterinaria Notícias*, vol. 24, no. 1, pp. 81–101, 2018, doi: 10.14393/VTN-v24n1-2018.7.
- [21] É. d. O. Araújo *et al.*, "Agronomic performance and chemical composition of silage from corn hybrids grown in southern Rondonia," *RSD*, vol. 10, no. 12, e320101220572, 2021, doi: 10.33448/rsd-v10i12.20572.
- [22] D. T. Pinheiro *et al.*, "Closing the Gap: Sustainable Intensification Implications of Increased Corn Yields and Quality for Second-Crop (safrinha) in Mato Grosso, Brazil," *Sustainability*, vol. 13, no. 23, p. 13325, 2021, doi: 10.3390/su132313325.
- [23] D. A. Martínez Turcios, "Evaluación nutricional del ensilaje de maíz cosechado en cuatro etapas fenológicas elaborado con tres calibres de picado," Proyecto Especial de Graduación, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras, 2017. Accessed: Apr. 28 2026. [Online]. Available: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/c472a1b0-00ba-4794-912a-6cdd31fab284/content>
- [24] J. Zaragoza-Esparza *et al.*, "Rendimiento y calidad de forraje de híbridos de maíz en Valles Altos de México," *Remexca*, vol. 10, no. 1, pp. 101–111, 2019, doi: 10.29312/remexca.v10i1.1403.
- [25] P. Rossi, A. Fugisawa, A. Schogor, and G. Muraro, "Apparently digestibility of two hybrids corn, cut in different highs, submitted to silage," *Archives of Veterinary Science*, vol. 11, no. 3, pp. 58–61, 2006. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/328069765.pdf>
- [26] P. C. Hoffman, K. M. Lundberg, L. M. Bauman, S. Randy D, and F. E. Contreras Govea, "El Efecto de la Madurez en la Digestibilidad del FDN (Fibra Detergente Neutro)," *Forage*, vol. 5, no. 15, pp. 1–2, 2007. [Online]. Available: <https://fyi.extension.wisc.edu/forage/files/2014/01/MaturityNDFesp-FOF.pdf>
- [27] P. C. Hoffman, K. M. Lundberg, L. M. Bauman, R. D. Shaver, and F. E. Contreras Govea, "Digestibilidad in vitro del FDN (fibra detergente neutro): El debate de 30 vs 48 horas," *Forage*, vol. 5, no. 16, pp. 1–4, 2007. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Contreras-3/publication/237305981_Digestibilidad_in_vitro_del_FDN_fibra_detergente_neutro_El_debate_de_30_vs_48_horas/links/0deec52fbde8fece64000000/Digestibilidad-in-vitro-del-FDN-fibra-detergente-neutro-El-debate-de-30-vs-48-horas.pdf
- [28] J. Anzola, *Experiencias en el uso de forrajes de calidad en un sistema intensivo de producción lechera*. [Online]. Available: http://www.avpa.ula.ve/eventos/xi_seminario/conferencias/articulo-10.pdf
- [29] A. Villa, A. Melendez, J. Carulla, M. Pabon, and E. Cardenas, "Estudio microbiológico y calidad nutricional del ensilaje de maíz en dos ecorregiones de Colombia," *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, no. 23, pp. 65–77, 2010. [Online]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v23n1/v23n1a08.pdf>
- [30] A. Rodríguez, V. Rivera, L. C. Solórzano, and P. F. Randel, "Utilización de inóculos comerciales conteniendo bacterias productoras de ácido láctico sobre las características fermentativas y estabilidad aeróbica de ensilaje de maíz," *Revista de Agricultura de la Universidad de Puerto Rico*, vol. 98, 1-2, pp. 31–47, 2014. [Online]. Available: <https://revistas.upr.edu/index.php/jaupr/article/download/219/217>
- [31] E. O. Tapia Moreno, "Característica fermentativa y composición química de ensilajes de forrajes de maíz (*Zea mays* L.) obtenidos con la inclusión de gallinaza y forraje de soya," Investigación, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, 2015. Accessed: Jul. 7 2023. [Online]. Available: <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/6142d852-e399-44a6-bf2f-ba44103b247b/content>
- [32] E. E. Araiza-Rosales *et al.*, "Calidad fermentativa y nutricional de ensilados de maíz complementados con manzanilla y melaza," *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, vol. 2, no. 6, pp. 255–267, 2015. [Online]. Available: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-90282015000300002&script=sci_arttext
- [33] J. L. Sobalvarro Mena, J. A. Elizondo Salazar, and A. Rojas Bourillón, "La producción de gas in vitro para estimar la energía neta de lactancia," *Agron. Mesoam.*, vol. 31, no. 2, pp. 311–328, 2020, doi: 10.15517/am.v31i2.38497.
- [34] R. K. McGuffey and D. J. Schingoethe, "Feeding value of a high oil variety of sunflowers as silage to lactating dairy cows," *Journal of dairy science*, vol. 63, no. 7, pp. 1109–1113, 1980, doi: 10.3168/jds.S0022-0302(80)83054-2.
- [35] A. F. Villa Lenis, "Estudio microbiológico y calidad nutricional de ensilaje de maíz cosechado en dos ecorregiones de Colombia," Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia, Colombia, 2008. Accessed: Jul. 9 2023. [Online]. Available: <https://bfi-repositorio.unal.edu.co/server/api/core/bitstreams/ed18b068-b4ce-44bb-b860-c73175866d21/content>
- [36] A. García, *Avances recientes en la caracterización de los alimentos para los rumiantes*. [Online]. Available: https://bibliotecadigital.fvet.edu.uy/bitstream/handle/123456789/668/jb1997_d7-13.pdf?sequence=1&isallowed=y (accessed: Jun. 5 2023).