



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE CIENCIAS DE LA SALUD Y PRODUCCIÓN ANIMAL

Evaluación agronómica y nutricional de maíces para valles altos, como apoyo
a la suplementación en bovinos productores de leche

TESIS POR ARTÍCULO
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN Y DE LA SALUD
ANIMAL**

PRESENTA:
MVZ ISIDRO GARCÍA CHÁVEZ

TUTOR PRINCIPAL:
DR. MANUEL GONZÁLEZ RONQUILLO

TUTORES:
DR. OCTAVIO CASTELÁN ORTEGA
DR. JOB ZARAGOZA ESPARZA

Ciudad de México, 2024

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	3
2.1 El maíz.....	3
2.2 Maíces híbridos.....	4
2.3 Calidad forrajera.....	5
2.4 Materia seca (MS)	6
2.5 Características nutricionales.....	7
2.5.1 Elemento libre Nitrógeno.....	8
2.5.2 Proteína cruda.....	9
2.5.3 Digestibilidad.....	9
2.5.4 Fibra detergente neutro (FDN)	10
2.5.5 Fibra detergente ácido (FDA)	11
2.5.6 Extracto etéreo (EE)	11
2.5.7 Carbohidratos no fibrosos (CNF)	12
2.5.8 Nutrientes digestibles totales (TND)	12
III. CORN SILAGE, A SYSTEMATIC REVIEW OF THE QUALITY AND YIELD OF DIFFERENT REGIONS IN THE WORLD.....	13
IV. DISCUSIÓN.....	38
V. BIBLIOGRAFÍA.....	49

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz (*Zea mays L.*) destinado a un proceso de ensilaje, está ampliamente difundido en muchas partes del mundo en climas donde está adaptado, como una fuente importante de forraje para rumiantes (Allen *et al.*, 2003; Filya, 2003); considerado como la principal fuente de energía para ganado lechero, con un bajo costo de producción (Arcila, 2013). Representando una alternativa agrónómica con un elevado potencial de aporte de materia seca (MS), aunque con un nivel mínimo de compuestos nitrogenados y en algunos minerales (Alaniz, 2008). Es una estrategia de vital importancia para la alimentación del ganado lechero, puesto que la producción de leche es altamente dependiente de la cantidad de energía consumida (Mier, 2009) con requerimientos de nutrientes con alta digestibilidad (Staples, 2003; Enríquez, 2018).

El empleo de alimentos conservados a través de ensilados resulta muy atractivo por su flexibilidad para cubrir las necesidades nutricionales de los animales, posibilitando la cosecha de los forrajes en etapas óptimas de crecimiento para disponer de un alimento de calidad máxima (Fuentes *et al.*, 2001). El cultivo de maíz es ideal para ensilar por su alto contenido de carbohidratos disponibles y su alto rendimiento de materia verde. Presenta, además, un rendimiento constante, en una amplia variedad de condiciones ambientales y agronómicas (Khan *et al.*, 2014); siendo el cultivo más utilizado para realizar el ensilado, por su concentración de energía, palatabilidad (Nkosi *et al.*, 2011) y facilidad en el manejo durante el proceso. El valor nutritivo depende de la variedad y/o híbrido comercial empleado, la densidad de siembra utilizada, condiciones de crecimiento, grado de madurez y humedad al momento de cosecha (Satter y Reiss, 2005). La principal ventaja que presenta el cultivo de maíz, es su alto rendimiento de MS en comparación con los forrajes alternativos (Allen *et al.*, 2003) con un valor nutritivo uniforme y facilidad para su manejo y almacenamiento (Ozduven *et al.*, 2010). Su calidad radica en la interacción de la especie forrajera, la composición química y el proceso de conservación, que da como resultado el valor nutritivo del ensilado, la digestibilidad y el proceso de fermentación (Ozduven *et al.*, 2010). Para obtener un ensilado de alto valor nutritivo y contenido de MS es necesario la selección de un híbrido adecuado a los genotipos, con características sobresalientes, rendimientos de MS de

la planta entera y la relación entre el grano-tallo, que son factores relacionados con la adaptabilidad (Ballard *et al.*, 2001; Thomas *et al.*, 2001) y el contenido de Proteína Cruda (PC), fibra y digestibilidad de la MS (dMS), que son factores relacionados con la calidad nutricional, siendo estas características el ideotipo idóneo de maíz (Bertoia *et al.*, 2015).

La importancia en el valor nutritivo del ensilado radica en la dMS, que da como resultado la producción de leche por superficie. Una mayor digestibilidad de la fibra y, por tanto, un aumento en el consumo de MS, conllevando a un incremento en la producción de leche (Thomas *et al.*, 2001). Esta digestibilidad se relaciona con la pared celular, que se caracteriza por su contenido de carbohidratos estructurales, celulosa y hemicelulosa, junto con la lignina que reduce su aprovechamiento, creando una compleja red insoluble (Elghandour *et al.*, 2015).

El concepto "calidad de la materia seca" es un punto importante a considerar debido a la complejidad de los análisis de laboratorio que se deben realizar (Bertoia *et al.*, 2015), por lo que las revisiones cuantitativas o metaanálisis permiten combinar resultados procedentes de diversos estudios individuales identificados y valorados críticamente a través de una revisión sistemática previa (Catalá *et al.*, 2014); resumiendo en un solo valor numérico toda evidencia relacionada, aumentando la potencia estadística y la precisión del estimador (Letelier *et al.*, 2005). El metaanálisis se ha consolidado como una herramienta metodológica que ofrece información de calidad y rigor científico (Catalá *et al.*, 2014) con el objetivo de determinar los conocimientos de investigación en un campo de estudio ampliando el elemento estadístico, que no permite tener sesgos narrativos como sucede en las revisiones de literatura. Con revisiones sistemáticas que resumen y analizan la evidencia respecto a una pregunta estructurada y explícita (Letelier *et al.*, 2005)

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 El maíz

El maíz (*Zea mays L.*) es una planta anual originaria de México y Centroamérica, distribuyéndose antes de la llegada de los españoles a América, desde México a lo largo de casi todo el continente americano, llegando en el norte hasta los territorios de lo que hoy es Quebec, Canadá, y hasta el sur pasando por América Central, llegando al Caribe por el Atlántico y expandiéndose a Brasil y Argentina, para ser introducida posteriormente en el siglo XVII a Europa. En la actualidad es el cereal con el mayor volumen de producción a nivel mundial, superando al trigo y al arroz (Dávila, 2016) ya que es de suma importancia en la actualidad para la alimentación de la población humana, por lo que es necesario incrementar la producción de alimentos que permitan nutrir a la población, con una relevancia en encontrar los que puedan ser usados en la alimentación animal y no compitan con la alimentación de la población humana.

En América Latina los maíces de grano blanco y amarillo se usan principalmente en la elaboración de tortillas y en la alimentación animal (Zaragoza *et al.*, 2019) siendo de gran importancia en el consumo humano (Luna *et al.*, 2013) principalmente como fuente de alimento (Domínguez *et al.*, 2009). Como ensilado, es el más utilizado en las principales cuencas lecheras por su alto valor energético y elevada producción de materia verde y/o seca, incrementando las ganancias principalmente por la posibilidad que tienen los productores de contar con una ración diaria a lo largo del año (Peña *et al.*, 2010; Bertoia, 2012). La tendencia mundial de la globalización, indica poner a disposición de los productores, métodos y materiales vegetales que permitan hacer más eficiente la producción de carne y leche de calidad, respondiendo a la demanda del consumidor y que, además, que sean capaces de generar una reducción en los costos productivos y ambientales (Bertoia, 2012).

El biotipo ideal de maíz forrajero incluye características como: altos rendimientos de materia seca de calidad, contenido de nutrientes, digestibilidad, palatabilidad, rendimiento, entre otras (Fuentes *et al.*, 2001), alcanzando éstas características con la utilización de genotipos de

mayor tamaño, utilizando densidades de siembra similares o menores que las utilizadas en híbridos para grano o mediante el empleo de genotipos con alturas menores y compactos, capaces de tolerar altas densidades sin disminuir su rendimiento ni calidad (Bertoia, 2010; García, 2012). Este cultivo es ideal para ensilar por su alto contenido de carbohidratos disponibles, empleado como alimento conservado a través de ensilados resultando muy atractivo por su flexibilidad para cubrir las necesidades nutricionales de los animales, posibilitando la cosecha de los forrajes en etapas óptimas de crecimiento para disponer de un alimento de una mayor calidad nutricional (Fuentes *et al*, 2001).

2.2 Maíces híbridos

Las variedades híbridas provienen del cruzamiento de dos líneas puras y tienen la ventaja de manifestar la heterosis (vigor híbrido). En variedades híbridas, los individuos de la población son idénticos pero heterocigóticos, lo cual significa que no pueden reproducirse en individuos iguales a sí mismo (Dávila, 2016). Un híbrido es la primera generación (F1) de un cruzamiento entre dos genotipos claramente diferentes. Normalmente se producen numerosos tipos de híbrido en todos los programas de mejoramiento para combinar diferentes caracteres de los distintos genotipos. En el maíz, el término híbrido implica un requerimiento específico y diferente, el cual es utilizado para la producción comercial (Rodríguez y Valdiviezo, 2013; Dávila, 2016).

Las ventajas de estos maíces, en relación con las variedades criollas y las sintéticas, se encuentra que tienen una mayor producción de grano, uniformidad en floración, altura de planta y maduración, plantas cortas pero vigorosas que resisten el acame y rotura, mejor sanidad de mazorca y grano y, en general, mayor precocidad y desarrollo inicial. Otras cuestiones a considerar de algunos híbridos, es la reducida área de adaptación, tanto en tiempo como espacio (interacción genotipo-ambiente), escasa variabilidad genética, necesidad de tecnología avanzada y uso de insumos para aprovechar su potencial genético (Rodríguez y Valdiviezo, 2013).

La selección de las mejores líneas genéticas, depende de las características que poseen, basándose en escoger los individuos que presentan características deseadas, a partir de las diferencias heredables o a través de la variabilidad creada (Dávila, 2016).

2.3 Calidad forrajera

Los conocimientos de la calidad forrajera de un cultivo se han visto incrementados por el uso de los métodos analíticos propuestos por Van Soest (Bertoia, 2010). Estos métodos permiten discriminar entre los contenidos celulares casi completamente digestibles (proteínas, azúcares, ácidos orgánicos, etc.) y los constituyentes de la pared celular (celulosa, hemicelulosa y lignina) parcialmente digestibles. Por lo tanto, el contenido de pared celular y su digestibilidad serán los puntos que determinen la digestibilidad del forraje, que va depender de la edad de la planta y de su estado de desarrollo (Zannier, 2012).

El valor nutritivo y las características de fermentación del material ensilado son de fundamental importancia, no sólo en los aspectos de producción, sino en lo que respecta a costos económico-financieros del establecimiento del cultivo (Cozzolino y Fassio, 1995). La producción de forraje por unidad de superficie tiene importancia no solo desde el punto de vista económico sino también nutricional: la calidad del forraje depende de la variedad híbrida, del estado de madurez a la cosecha, fertilización, control de plagas y enfermedades, del año y sitio de siembra (Zannier, 2012). Para la obtención de incrementos en la producción, tanto de grano como de forraje, se requieren variedades de alto rendimiento, con tolerancia a factores bióticos y abióticos que afectan a la planta en las diferentes áreas agrícolas, pero también tecnología de manejo que permita una mejor expresión genético-fisiológica (Peña *et al.*, 2010). Un incremento de la productividad de un ensilado de maíz, sin disminuir su calidad del forraje, es un factor determinante para hacer más eficiente la producción de leche (Reta *et al.*, 2000).

En el cultivo de maíz, el cambio en densidad de plantas, es una práctica agronómica que influye sobre la cantidad y calidad del forraje a ensilar (Domínguez *et al.*, 2009). Un bajo rendimiento de materia seca por hectárea, bajo contenido de grano y alto de fibra, ocasiona que la digestibilidad y la concentración de energía sean menores, debido al uso de híbridos

forrajeros con una mayor altura y, por ende, mayor producción de follaje, ocasionando una escasa cantidad de grano, siendo este se encuentra el mayor valor energético (Núñez *et al.*, 2001). Las variedades para forraje, tienen diferencias en desarrollo de la parte aérea y el llenado de grano, existiendo también diferencias en cuanto al contenido de materia seca y su digestibilidad (Cozzolino y Fassio, 1995).

2.4 Materia Seca (MS)

El rendimiento de MS del maíz aumenta a medida que avanza el estado de madurez del cultivo (Fassio *et al.*, 2017). Este porcentaje de materia seca es una variable fundamental para lograr almacenar la mayor cantidad de forraje verde de adecuada calidad y mejorar el consumo de ensilado por animal por día. Si se llegan a obtener valores elevados y/o inferiores en el porcentaje de MS, pueden crear graves problemas en el estado del proceso final del ensilado (Enríquez, 2018). El estado de madurez de la planta en la cosecha determina las características de nutrientes del ensilado de maíz, la MS puede usarse para indicar el estado de madurez de la planta, por lo tanto a mayor madurez, mayor contenido de MS; el contenido de fibra y lignina aumenta con la edad, el llenado de grano con la edad significa que los niveles de fibra de toda la planta se reducen (Kolver *et al.*, 2001). La madurez de grano, debe encontrarse en un estado lechoso a grano pastoso-duro, y comienza a decrecer a partir del estado de grano maduro, con un efecto negativo sobre las características ideales del ensilado (Fassio *et al.*, 2017). La digestibilidad permanece relativamente constante en un rango de 34.00% a 44.00% por ciento de la MS (Cozzolino y Fassio, 1995). Forrajes bastante húmedos con contenidos entre 80.00% y 85.00% de humedad y pérdidas entre 20.00% y 40.00% de MS, pueden presentar un fuerte olor a humedad y cuando este forraje se expone al aire, se desarrolla una actividad microbiana por hongos, levaduras y bacterias, generando altas pérdidas gaseosas de la MS y, en largos periodos de tiempo, el ensilado pierde calidad nutricional, lo que causa una disminución en el consumo animal, y puede llegar a causar toxicidad (Enríquez, 2018).

Los mejores resultados se obtienen con forrajes verdes que contienen un rango entre 30.00% a 40.00% de MS, siendo una condición ideal de 63.00% y 70.00% de humedad, que genera pérdidas entre 5.00% y 15.00% de MS. Mientras de los forrajes muy secos son aquellos que contienen entre 50.00% y 60.00% de humedad, con pérdidas entre el 20.00% y 30.00% de MS por un exceso de moldeado y putrefacción, reduciendo la digestibilidad de la fracción de celulosa y creando dificultad en el llenado del silo (Enríquez, 2018).

2.5 Características nutricionales

El cultivo de maíz, constituye la forma más rápida de obtener altos rendimientos de MS y de calidad ideal para la alimentación de bovinos, cuando es ofrecido en forma de forraje fresco o ensilado (Boschini y Amador, 2001). El ensilado de maíz es un complemento energético relativamente barato con una calidad consistente, donde se desean mayores niveles de energía metabolizable, proteína, almidón y un menor nivel de fibra. Las características nutritivas del ensilado de maíz están determinadas en gran medida por la proporción de mazorca y hojas (Kolver *et al.*, 2001) Esta composición nutritiva del forraje (hojas y tallo) es más variable que en el grano, difiere según genotipo, estado fenológico de la planta y factores medioambientales (Fassio *et al.*, 2017). El enfoque de mayores rendimientos de energía por superficie, ha reducido el costo por tonelada de MS cosechada, procurando que no haya resultados en las características nutritivas del maíz con un rendimiento reducido de energía por superficie (Kolver *et al.*, 2001).

Es importante conocer la calidad nutricional del tallo, el cual tiene una correlación con la calidad nutricional la planta entera, se desea una mayor proporción de grano en el ensilado, donde los carbohidratos almacenados a nivel del tallo y las hojas se transloca para sintetizar el almidón en los granos, lo que contribuye en su mayor parte al aumento de MS (Marchesini *et al.*, 2019) y una mayor concentración de almidón, que por efecto de la maduración de la planta, aumentará la digestibilidad FDN (Ferraretto *et al.*, 2018), contribuyendo al aumento del contenido de MS. Además de la proporción del grano, es importante la adaptabilidad y digestibilidad de la materia seca (dMS), y la proporción Fibra Detergente Neutro (FDN) y la Fibra Detergente Ácido (FDA).

El ensilado de maíz se caracteriza por presentar un bajo contenido de proteína, fácilmente corregible mediante la utilización de compuestos nitrogenados o forraje con mayor cantidad de proteína como las leguminosas. La pared celular es un componente, que condiciona fuertemente la calidad nutricional del forraje, constituida esencialmente por una estructura fibrosa ligada a una matriz de compuestos fenólicos (lignina, ácidos hidroxicinámicos) y la hemicelulosa, siendo la lignina el factor limitante de la degradabilidad de la pared celular conjuntamente con otros factores que influyen en la digestibilidad de la misma (Bertoia, 2012).

El objetivo principal en la producción de maíz forrajero es mejorar la alimentación, con énfasis en su digestibilidad (Wang *et al.*, 2016), que está relacionada con la pared celular de los forrajes. En los rumiantes, esta pared celular puede digerirse debido a las enzimas de la microbiota ruminal (Elghandour *et al.*, 2015). Siendo importante considerar en una variedad de maíz forrajero su digestibilidad de la materia seca (dMS) y el contenido de fibra detergente neutro (FDN) y fibra detergente ácida (FDA). Existen tres tipos de fibra presente en ensilados: (1) fibra detergente ácido, la cual representa a la celulosa, lignina y sílice; (2) fibra detergente neutro, que representa el total de las paredes celulares (celulosa, hemicelulosa y lignina); y (3) fibra cruda, la cual no representa a ninguna fracción química definida, ponderando en forma parcial los contenidos de lignina, hemicelulosa y celulosa (Berndt y Andrés, 2002)

2.5.1 Elementos Libres de Nitrógeno

El ensilado de maíz de planta entera es de alto contenido energético, debido a que gran porcentaje de su MS se constituye de almidón y azúcares solubles (Roblero, 2006), componentes de la fracción “Extracto Libre de Nitrógeno” (ELN); destacando por presentar un alto volumen de forraje, un contenido de FC igual o superior a 18.00%, y TND totales mayores a 70.00% en base seca (Fassio *et al.*, 2017). La fracción ELN presenta una digestibilidad de entre 70.00% y 75.00% y constituye un 60.00% de la MS, la fibra cruda está constituida por celulosa, hemicelulosa y pentosanos, siendo su digestibilidad del orden de 60.00% (Fassio *et al.*, 2017). La concentración de energía se calcula sometiendo la muestra de ensilado a digestibilidad *in vitro* para determinar el porcentaje de materia orgánica

digestible en la MS, luego se usa dicho valor en ecuaciones de regresión o se multiplica por coeficientes, esta energía también puede ser estimada a través del contenido de fibra (Berndt y Andrés, 2002).

2.5.2 Proteína cruda

El ensilado de maíz no es una adecuada fuente proteica, su contenido oscila entre un 8.00% (NRC,1978) y 9.80%, porcentaje que es más bajo en otros cultivos forrajeros de cereales cosechados en etapa de floración que pueden llegar a un 16.00% de PC (Flores y Sánchez, 2010), según la fertilidad del suelo y las diferentes condiciones de crecimiento, resultando en un aporte insuficiente de proteína para algunas categorías animales cuando se consume como único alimento (Fassio *et al.*, 2017).

Según NRC, 2003, el requerimiento de proteína cruda para vacas lecheras lactantes con un peso de 450 Kg de peso vivo es de 635 g/día. Por lo que para cubrir estos requerimientos tendríamos que proporcionar a cada vaca la cantidad de 5.97 Kg de materia seca de maíz en estado natural o bien 7.80 Kg de forraje de maíz ensilado para cada vaca (Roblero, 2006). La PC es una mezcla entre la proteína verdadera y el nitrógeno no proteico, menos de 30.00% del total de la proteína en un ensilado de maíz está disponible para ser absorbida como proteína verdadera y una gran cantidad es degradada durante la fermentación en el silo y en el rumen en nitrógeno no proteico (Enríquez, 2018).

2.5.3 Digestibilidad

La madurez disminuye la digestibilidad de la MS de la fracción vegetativa y de la propia pared celular, esta disminución se compensa por el incremento de almidón de la fracción de la espiga y, por lo tanto, hay que esperar el llenado del grano (Cuy, 2015). La digestibilidad de la materia orgánica es uno de los principales parámetros de calidad. La fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y lignina detergente ácido (LDA), son importantes parámetros de los constituyentes de la pared celular que se relacionan directamente con la digestibilidad (Fassio *et al.*, 2017). El ensilado de maíz, como ya se mencionó, es un alimento energético, y su valor nutritivo va en función de la digestibilidad y de los factores que afectan la Materia Seca Digestible obtenida a partir del producto de la

MS de la planta completa por su digestibilidad, puede afirmar que un maíz apto para ensilado muestra un rendimiento óptimo de Materia Orgánica Digestible (Cuy, 2015)

El ensilado de maíz produce MS de alta calidad, aproximadamente la mitad de la MS cosechada proviene de la mazorca y la otra mitad del resto de la planta, por lo que no se debe tratar de aumentar el contenido de los granos, y descuidar el resto de la planta, ya que la digestibilidad final es resultado de la cantidad de grano y la calidad de la planta (Zannier, 2012). Es muy importante tener en cuenta la relación entre el contenido de granos y la calidad del resto de la planta, una baja calidad de la planta o una caída brusca de la digestibilidad (lignificación de tallo) pueden enmascarar el efecto favorable que produce la acumulación de grano (Romero, 2004). La calidad del ensilado está estrechamente relacionado con la concentración de lignina, con la digestibilidad de la pared celular de la planta y el contenido de granos en relación a la biomasa total al momento de ensilar (Fassio *et al.*, 2017).

La digestibilidad de cada uno de los componentes de la planta entera, disminuye en el orden siguiente (de mayor a menor): espiga, hojas de la mazorca, hoja y tallo. La menor digestibilidad de las hojas, tallo y la hoja de la mazorca, se compensa con el incremento del grano (Cozzolino y Fassio, 1995). El estado ideal sería aquél que permita al híbrido acumular la máxima cantidad de MS digestible, considerando la planta total, pero con un nivel de digestibilidad aceptable para ser utilizado en animales con altos requerimientos, como mínimo un 60.00% de digestibilidad (Romero, 2004).

2.5.4 Fibra Detergente Neutro (FDN)

La FDN es una medida del total de fibra contenida en el forraje, compuesta por la celulosa, hemicelulosa y lignina. Forrajes con altos contenidos de fibra llenan más rápido el rumen, afectando la capacidad de consumo, y se necesita una mayor cantidad de ración como suplemento; el ensilado de maíz oscila entre el 36.00% y 50.00%, debe de procurarse lograr concentraciones mínimas de este componente para obtener una mejor calidad (Enríquez, 2018). Estos ensilados, con valores inferiores de FDN, son los ideales, ya que contienen niveles mayores de energía, por lo que, dietas con elevados contenidos de fibras limitan el consumo debido al efecto de llenado que producen en el rumen. El contenido de FDN del

ensilado de maíz varía con los diferentes híbridos y el clima, y desciende con las fertilizaciones nitrogenadas y con el adelanto del momento de la cosecha (Enríquez, 2018).

Un ensilado de calidad adecuada, es decir con gran cantidad de granos, dicha fracción no supera el 45.00% en base seca. No siempre un alto valor de FDN (>47.00%) implica un alimento de tipo "fibroso", todo depende de su composición química (grado de lignificación) y del tamaño de las partículas. La digestibilidad de la FDN, se determina mediante una técnica *in vitro* similar a la digestibilidad *in vitro* clásica, indicando de manera indirecta qué proporción de la pared celular del forraje será potencialmente digerida en rumen. (Gallardo, 2006).

2.5.5 Fibra Detergente Ácido (FDA)

La FDA es un componente estructural de la pared celular compuesta por celulosa ligada a lignina, además de productos Maillard, sílice, cutina, etc. Esta fracción es un indicador indirecto del grado de digestibilidad del forraje. El rango óptimo está entre 20.00% y 40.00% y el promedio es 28.00% (NRC, 2001). Altos niveles de FDA pueden ser causados por falta de grano en el ensilado, debido a estrés, inmadurez o diferencia de híbridos, que está estrechamente relacionado con la fracción no digestible del forraje y es un factor muy importante en el cálculo del contenido energético del alimento. Cuanto mayor es el contenido en FDA menor es la digestibilidad del alimento y la energía contenida (Roth y Heinrichs, 2001); esta fracción es un indicador indirecto del grado de digestibilidad del forraje: cuanto más alta (superior al 32.00%) es menos digestible (Gallardo, 2006)

2.5.6 Extracto etéreo (EE)

La grasa cruda en los alimentos es el residuo no volátil que queda después de evaporar en estufa el extracto obtenido por la acción del éter anhidro sobre el alimento, hasta el agotamiento (Roblero, 2006). Este extracto etéreo contiene las sustancias solubles en los disolventes de las grasas y son componentes grasos verdaderos (glicéridos), ácidos grasos, ceras, esteroides, pigmentos, etc., pero esta fracción que no es grasa verdadera, contiene

elementos de gran valor nutritivo, como los esteroides, carotenos, vitaminas liposolubles, etc. (Church y Pond, 1990). La fracción de grasas y aceites del alimento, es de gran valor energético, siendo comunes las concentraciones entre 3.00% y 4.00%, sin embargo en maíces del tipo "alto oleico" pueden llegar al 5.00% ó 6.00% de la MS total (Gallardo, 2006).

2.5.7 Carbohidratos no fibrosos (CNF)

Los microorganismos usan los CNF como la principal fuente de energía para su crecimiento, siendo principalmente la fructosa, sacarosa y fructosanos. Un bajo contenido de CNF del forraje puede limitar las condiciones de la fermentación (Mier, 2009); el pH no desciende para llegar al estado de conservación, requiriendo normalmente 6.00% a 12.00% de carbohidratos hidrosolubles sobre materia seca, para una fermentación óptima en el ensilado. El contenido de CNF de las plantas depende del tipo de forraje, de las condiciones del cultivo, así como las ambientales (Alaniz, 2008). Las concentraciones de CNF típicas de ensilados con mucho grano, están en un rango entre el 36.00% y 40.00% en base seca. En cuanto a la concentración de almidón, los ensilados de maíz de buena calidad, altos en grano se encuentran en niveles del 25.00% al 28.00% en base seca (Gallardo, 2006).

2.5.8 Nutrientes digestibles totales (TND)

El total de nutrientes digestibles totales, es una medida aproximada de la digestibilidad del mismo, por lo que un valor mayor de TND, teóricamente indicará un mayor valor nutritivo para dicho alimento. Sin embargo, el valor del TND tiene una limitante que se basa en el análisis proximal. Además, en general, las cifras de digestibilidad que se emplean son tabuladas y dan por resultado un dato cuestionable; en la actualidad los valores energéticos de la mayoría de los ingredientes utilizados en alimentación animal todavía se expresan como TND (Roblero, 2006). En los ensilados podemos encontrar un rango esperado entre 55.00% a 77.00% de TND (Romero, 2004)

T|ype of article: Scientific and technological research articles

Cienc. Tecnol. Agropecuaria, 23(3): e2547
https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num3_art:2547









ISSN: 0122-8706 ISSNe: 2500-5308 DOI:

Animal feed and nutrition

Scientific and technological research articles

Corn silage, a systematic review of the quality and yield in different regions around the world

Ensilado de maíz, una revisión sistemática de la calidad y el rendimiento en diferentes regiones del mundo

  Isidro García-Chávez¹  Edgar Meraz-Romero¹  Octavio Castelán-Ortega²
 Joob Zaragoza-Esparza¹  Jorge Osorio Avalos²  Lizbeth Esmeralda Robles Jiménez²
 Manuel González-Ronquillo^{2*}

¹ Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.

² Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca de Lerdo, México.

*Corresponding author: Manuel GonzálezRonquillo. Universidad Autónoma del Estado de México

Received: May 5, 2021

Approved: May 19, 2022

Published: November 09, 2022

Subject editor: Edwin Castro Rincón,

(Corporación Colombiana de Investigación

Agropecuaria [AGROSAVIA]), Bogotá, Colombia.

Abstract: Corn silage (*Zea mays* L.) is the most widely used in the world in dairy cattle diets because of its higher biomass yields, palatability, homogeneous quality at harvest, and ease of silage due to its higher soluble sugar content. Studies were systematically searched to know the silage corn quality and yield from different countries concerning dry matter yield (t/ha), population density (plant density/ha), quantity of Dry Matter (DM), Crude Protein (CP), Neutral Detergent Fiber (NDF), Non-Fibrous Carbohydrates (NFC), Organic Matter (OM), DM Digestibility (DMD), Neutral Detergent Fiber Digestibility (NDFD), and milk production (kg) per hectare (kg milk/ha) using MILK2006®. Six clusters (CL, PROC CLUSTER) of corn silage were analyzed: CL1: "Starch," which included DMD, DNDF, TDN1 x DM, Mega calories per kg of DM, and kg of milk/t DM; CL2: "ether extract" which included TDN1 x DM, Mcal/kg DM, and kg of milk/t DM; CL3: "DM," composed only of DNDF; CL4: "Plant Density," including Yield of DM/ha and Milk Production/ha; CL5: "NDF," and CL6: "CP." In conclusion, CL1 is characterized by a higher DMD, NDFD, CNF, and starch, which allow higher TDN1 x DM and an energy concentration (Mcal/kg DM) with higher milk production (kg milk/ha). CL2 with a higher ether extract (EE) allows higher TDN1 x DM and an energy concentration (Mcal/kg DM) having a higher milk production (kg milk/ha). The DM concentration increases in the whole plant because of maturity, affecting the starch content and NDFD; the DM content (> 35 g/100 g DM) mainly causes a decrease in the NDFD, while in a very early stage of DM harvest (< 25 g/100 g DM) a low ratio of starch:NDFD is present.

Keywords: Cluster, digestibility, dry matter, milk production, neutral detergent fiber, total digestible nutrients.

Resumen: El ensilado de maíz (*Zea mays* L.) es el más utilizado en el mundo en dietas de ganado lechero por sus mayores rendimientos de biomasa, palatabilidad, calidad homogénea a la cosecha y facilidad de ensilar por su mayor contenido de azúcar soluble. Se realizó una búsqueda sistemática de estudios para conocer la calidad y el rendimiento de ensilados de maíz en diferentes países con relación al rendimiento de materia seca (t/ha), densidad de población (densidad de plantas/ha), Materia Seca (MS), Proteína Cruda (PC), Fibra Detergente Neutra (FDN), Carbohidratos No Fibrosos (CNF), Materia Orgánica (MO), Digestibilidad de la MS (DMS), Digestibilidad de Fibra Detergente Neutra (DFDN) y producción de leche por hectárea (kg de leche/ha), mediante el programa MILK2006®. Se analizaron 6 clúster (CL, PROC CLUSTER) de ensilado de maíz: CL1: "Almidón", que incluyó DMS, DFDN, TDN x MS, Mega calorías por kg de MS y kg de leche/tonelada/MS; CL2: "extracto de éter" que incluyó TDN1 x MS, Mcal/kg MS y kg de leche/tonelada MS; CL3: "MS", conformado solo por DFDN; CL4: "Densidad de plantas" incluyendo el Rendimiento de MS/ha y Producción de leche/ha, CL5: "FDN" y CL6: "PC". El CL1 se caracterizó por una mayor DMS, DFDN, CNF y almidón que permiten una mayor TDN1 x MS y una concentración de energía (Mcal/kg MS) que muestra una mayor producción de leche (kg de leche/tonelada MS/ha). Las características de CL2 con mayor extracto de éter (EE), permiten un mayor TDN1 x MS y concentración de energía (Mcal/kg MS) con mayor producción de leche (kg de leche/tonelada MS/ha) en comparación con otros clústeres. La concentración de MS aumenta en toda la planta por efecto de la madurez, lo que afecta el contenido de almidón y DFDN; el contenido de MS (> 35 g/100 g MS) provoca principalmente una disminución de la DFDN, mientras que en una etapa muy temprana de cosecha de MS (< 25 g/100 g MS) se presenta una baja relación almidón-DFDN.

Palabras clave: clúster, digestibilidad, fibra detergente neutra, materia seca, producción de leche, total de nutrientes digestibles.

Introduction

Corn, *Zea mays* L. (Poaceae) silage is the most widely used energy resource in the diets of dairy cattle worldwide (Leonhart & Beneitez, 2019). This energy comes from the starch in the grain fraction (Fernández, 2014), which is the primary source of metabolizable energy in corn silage and considered an important characteristic (Khan et al., 2015). Corn silage stands out for its higher biomass yields, good palatability (Hidalgo et al., 2018; Mandić et al., 2018), homogeneous quality at harvest, and ease of silage due to the higher soluble sugar content (Ali et al., 2019) compared to other grasses. It is worth noting that parameters such as crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF), and neutral detergent fiber digestibility (NDFD) (Combs, 2015) should be considered, as well as fast growth and resistance to foliar diseases (Rivas et al., 2018; Sánchez et al., 2019), characteristics related to the ideal idioform of forage corn (Bertoia, 2015).

The corn crop has a constant yield under various environmental and agronomic conditions (Khan et al., 2015); However, the nutritional quality depends on many factors, such as genotype, plant density, growth conditions, maturity, and humidity of the crop at harvest (Mandic et al., 2018). Increasing forage productivity in dry matter (DM) without decreasing the quality is a determining factor for efficient milk production (Zaragoza et al., 2019). Currently, the hybrids commercialized were intended for grain production and placed on the market for their biomass production without considering the nutritional quality of DM and its digestibility (Rivas et al., 2018).

The MILK2006® program (Shaver et al., 2006) allows the evaluation of nutritional components of forage and the estimation of milk production per ton of DM. It makes it possible by using a forage energy value predicted from the Acid Detergent Fiber (ADF) content and the potential intake of DM, based on the Neutral Detergent Fiber (NDF) content and digestibility. This milk quality index has become a focal point for silage evaluation (Shaver et al., 2006).

The genetic improvement of corn silage raises the need to identify germplasm sources and takes advantage of the existing genetics (Rivas et al., 2018), identifying varieties with productive capacity and nutritional quality (Zaragoza et al., 2019). This study aims to review studies on the quality and yield of corn silage in different regions around the world using the program MILK2006® and estimate milk production per ton of DM to characterize nutritional quality, forage yield, and potential milk production of silages worldwide. The hypothesis of the present study is that the quality and yield of corn silage in different countries are similar according to their chemical composition and fodder yield and consequently their milk production potential per hectare.

Material and methods

Data collection

The search was confirmed by the compressed and structured review of studies on the quality and yield of corn silage in different regions worldwide. The publications were obtained from Google Scholar, Redalyc, Elsevier, SCOPUS, and Web of Science databases. The total number of scientific articles selected for the systematic review was 52. Figure 1 shows the PRISMA flowchart of the systematic review from the initial search and screening to the final selection of publications.

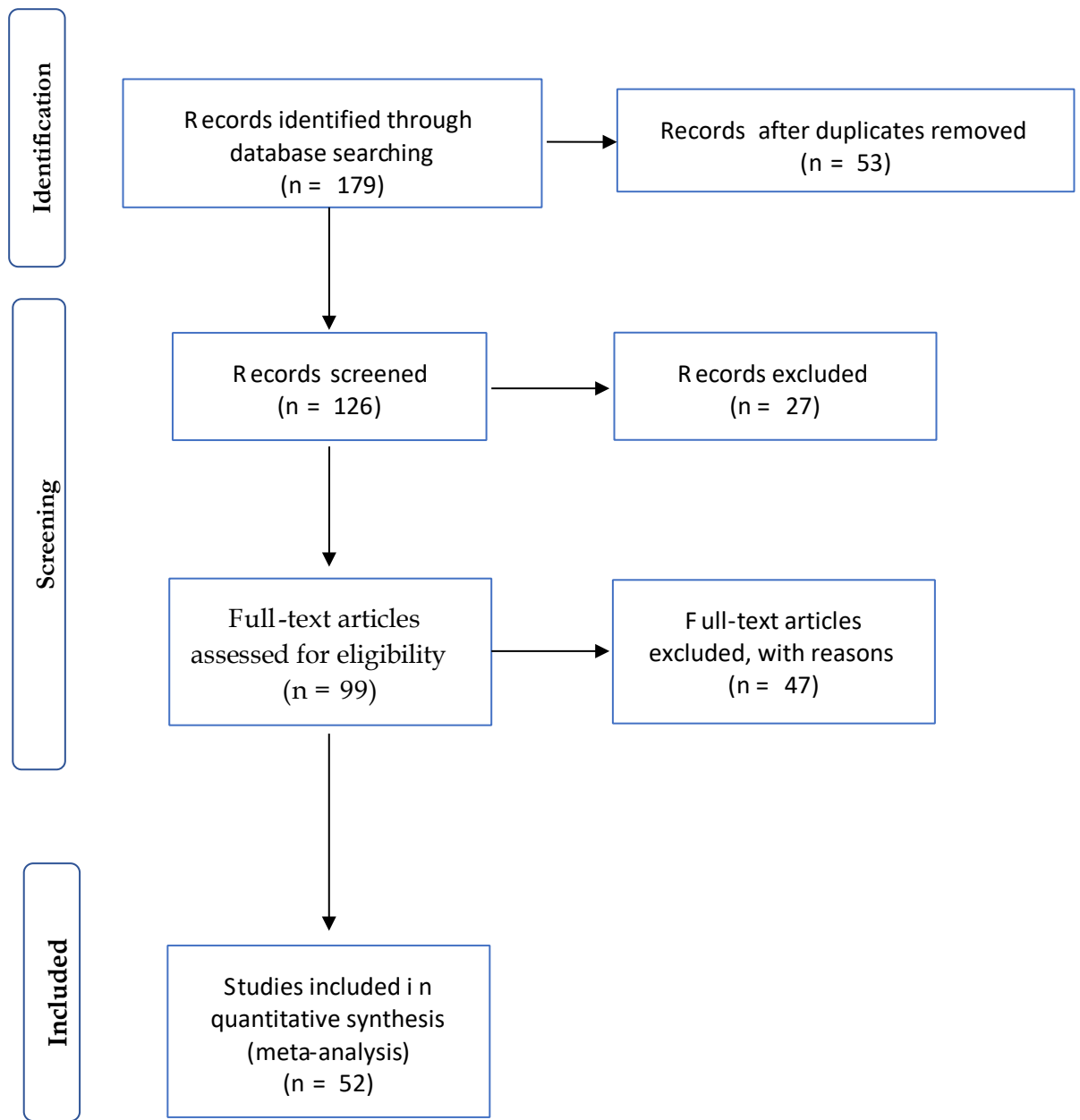


Figure 1. PRISMA flowchart from the initial search and screening to the final selection of publications to be included in the meta-analysis.

Source: Elaborated by the authors based on Moher et al., 2009.

Inclusion criteria

We study agronomic data and nutritional variables, such as DM yield (t/ha), planting density (number of plants/ha), quantity of DM, Crude Protein (CP), Neutral Detergent Fiber (NDF), Non-Fibrous Carbohydrates (NFC), Organic Matter (OM), DM Digestibility (DMD), and Neutral Detergent Fiber Digestibility (NDFD).

Calculations

Missing data for starch and ether extract (EE) in those studies that did not contain this information were calculated according to the National Research Council (NRC, 2001). Net energy for lactation (NEL, MJ/kg DM), total digestible nutrients (TDN), kilograms of milk per ton of DM (kg milk/t DM), and kilograms of milk per hectare (kg milk/ha) were calculated using the MILK2006® program (Shaver et al., 2006). The estimated value of EE was adjusted to the milk yield according to the fat content of the milk to reflect the concentration of its relative energy, thus reflecting the amount of energy required to produce the estimated amount of milk.

In the model, milk production is estimated from a cow with a live weight of 612 kg, fed with 300 g/kg of NDF with corn silage as the only forage and producing 35 g/kg of milk (kg/day) (Shaver et al., 2006). The missing values for NDFD were calculated using a regression equation with the data obtained from the registered papers that contained this information (Equation 1):

$$\text{NDFD (g/100 g)} = 77.96 (\pm 1.85) + [(\text{g/100 g NDF}) * (- 0.36 (\pm 0.95))], R^2 = 0.40, n = 144 \text{ (1)}$$

Like TDN, milk production was estimated using the MILK2006® model (Shaver et al., 2006).

Database

The database comprised 547 journals published and found in five regions (Africa: $n = 4$, Asia: $n = 22$, Europe: $n = 74$, North America: $n = 408$, and South America: $n = 39$), as well as the information sources by region and genetic line of the corn (Table 1). Fifteen variables related to DM production, planting density, and nutritional characteristics were considered (Table 2).

Statistical analysis

The variables were analyzed in two independent stages: an analysis of the interrelationships between the 15 variables (multivariate analysis) and then a factorial analysis (PROC FACTOR, SAS Institute INC., 2007) (SAS, 2007) to estimate their contribution to the total variance.

The information sources were grouped in homogeneous levels through the analysis of Ward's hierarchical clustering method (PROC CLUSTER, SAS Institute INC., 2007) (SAS, 2007) using the selected variables. Five hundred and forty-seven observations of corn silage were evaluated to know which group of variables correlated with each other, obtaining six clusters. According to integrated groups, an ANDEVA was performed between the six levels ($P < 0.05$). Tukey's test (SAS, 2007) was used to determine the differences between the groups formed (multiple comparisons of means), while Pearson's correlation analysis was performed to determine the relationship between the variables.

Table 1. Source of corn silage information by region and genetic line globally

Continent	Type	N
African	Hybrid	4
Asian	Hybrid	22
Europe	Native	37
Europe	Hybrid	37
North America	Native	7
North America	GMO	11
North America	Hybrid	390
South America	Native	10
South America	Hybrid	29
Total		547

Note. GMO: Genetically modified organism

Source: Elaborated by the authors

Results and discussion

Eigthy-two percent of the 547 observations shown in Table 1 were from the American continent (75 % from North America, 7 % from South America), and 13 % from Europe. These observations met the search requirements shown in Table 2.

Table 2. Variables considered for the meta-analysis of corn silage globally

Abbreviation	Definition
DM yield/t ha	Dry matter yield in tons per hectare
Density/ha	Density of plants per hectare
DM	Quantity of dry matter
DMD	Dry matter digestibility
CP	Crude protein
NDF	Neutral detergent fiber
NDFD	Neutral detergent fiber digestibility
NFC	Non-fibrous carbohydrates
OM	Organic matter
EE	Ether extract
Starch	Starch
TDN1 x DM	Total digestible nutrients (dry matter)
Mcal/kg DM	Mega calories per kg of dry matter
kg milk/t DM	Milk production (kg) per ton of dry matter
kg milk/ha	Milk production (kg) per hectare

Source: Elaborated by the authors

Worldwide, the leading corn producers are the United States (USA), China, and Brazil (Santana et al., 2018). However, its use as a fodder source for cattle feed occurs in North America, South America, and Europe (Sánchez & Hidalgo, 2018). Table 1 shows a relationship with Bernardes et al.'s (2018) statements: most observations are from North America and Europe since silage production is more developed in temperate zones. For the observations on the type of corn used we can define two criteria or slopes. The first one is based on the legislation on the use of genetically modified crops in European and Asian countries. The second one is based on the criterion that GMO foods do not differ significantly in production and quality from conventional ones. Endorsed by the US Food and Drug Administration (FDA), it is practiced in America, where 87% of the GMO surface is planted worldwide (Guerrero et al., 2018). Native varieties continue to be used for silage production because of their high growth rate and resistance to the climate and environment, while hybrids are of small contribution to producing little biomass due to their selection for a higher grain yield and not for their biomass yield (Sánchez et al., 2019).

Descriptive statistics for corn silage are shown in Table 3, where the global corn silage yield averages 15.70 tons of DM and an average population density of 76,155 plants per hectare. The average DM is 33.11 g/100 g DM, with digestibility of 63.68 g/100 g DM, CP of 7.8 g/100 g DM, and NDF of 49.74 g/100 g DM with digestibility of 60.48 g/100 g DM. While NFC ranges on average from 33.20 g/100 g DM, with OM of 94.16 g/100 g DM, 3.51 g/100 g DM for EE, and 23.39 g/100 g DM for starch. The average TDN is 66.66 g/100 g DM, with 1.41 Mcal/kg DM, producing 531.44 kg milk/t DM and 19,190.8 kg milk/ha.

Table 3. Average, standard deviation, and minimum and maximum values of the variables analyzed. The chemical composition is expressed in g/100 g of DM

Variable	Mean \pm SD	Min-Max
DM yield/t ha	15.7 \pm 8.3	2.75-53.6
Density/ha	76,155 \pm 15,570	50,000-100,000
DM	33.1 \pm 8.4	11.1-61.1
DMD	63.6 \pm 11.2	0.0-85.2
CP	7.8 \pm 1.4	4.4-14.9
NDF	49.7 \pm 8.2	31.0-69.9
NDFD	60.4 \pm 4.2	29.8-68.8
NFC	33.2 \pm 8.6	5.7-59.8
OM	94.1 \pm 1.6	71.6-99.0
EE	3.5 \pm 0.7	1.2-6.2
Starch	23.3 \pm 8.8	2.0-75.1
TDN1 x DM	66.6 \pm 4.1	48.3-75.1
Mcal/kg DM	1.4 \pm 0.1	0.9-1.6
kg milk/t DM	531.4 \pm 55.6	269.4-650.0
kg milk/ha	19,190.8 \pm 10,217.9	0.0-52,540.8
<i>N</i>	547	

Source: Elaborated by the authors

The influence of whole plant maize yield by population density can be observed in Table 3, finding an average value between the highest population density and traditional density (Guacapiña et al., 2018); a higher density of plants/ha positively affects the production of a ton of DM/ha, with a higher production of Fresh Matter (FM) (Camarasa et al., 2019). Guacapiña et al. (2018) found that increasing planting densities increases the amount of DM and FM, without modifying the silage quality (NDF and digestibility). The average of number of plants/ha agrees with the amount of DM in silage (Zaragoza et al., 2019), obtaining a better nutritional quality and a higher DM yield.

A large amount of DM causes difficulty in compacting, and the retained air causes heating in the silage material and quality losses (Vanegas & Codero, 2019). Guyader et al. (2018) indicated that silage material with high humidity (< 28 g/100 g DM) would cause increased filtration in the silo and reduce DM intake, while material that is too dry (> 40 g/100 g DM) is difficult to compact, and the oxygen present will produce poor fermentation in the silo.

The DMD of high-quality forage is around 70 g/100 g DM of *in vitro* DM digestibility (Cardozo, 2013). The DMD in the present study is below the parameters described in the meta-analysis of Ferraretto and Shaver (2012b), from 66.3 to 69.1 g/100 g DM, but within the range of 52-68 g/100 g

DM described by Chaudhary et al. (2014), which may be related to an increase in the harvest stage. At advanced maturity, it decreases the *in vitro* digestibility of DM (Arriola et al., 2012). The CP concentration is between 8 and 11 g/100 g DM (Chaudhary et al., 2014), placing the average value below the established range, although the protein content can vary between 5.2 and 7.5 g/100 g DM, considering that for good forage, the CP should be higher than 7 g/100 g DM (Ali et al., 2019).

The NDF reported by Calsamiglia et al. (2004) is between 44.9 and 57.0 g/100 g DM, where the average value of silage is within this range, considering that a quality forage has an NDF less than 50 g/100 g DM (Ali et al., 2019). At the same time, NDFD is higher than that described by Ferraretto and Shaver (2012b), with a content of 42.4 to 48.9 g/100 g DM. However, although a higher NDFD is desirable, it can reduce the digestibility of starch through an increase in the rate of passage of starch in the gastrointestinal tract (Ferraretto & Shaver, 2015). The NFC content is between 27 and 32 g/100g DM, allowing good fermentation (Vanegas & Codero, 2019); the average NFC in the meta-analysis is higher than 30 g/100g DM, characteristic of good quality forage (Ali et al., 2019). The OM is below the values mentioned by Calsamiglia et al. (2004) (95.82 g/100 g DM), representing a higher concentration of ashes, which in turn produces a decrease in NFC and in TDN values (Ferraretto & Shaver, 2015). The EE content is between 3.76 and 4.54 g/100 g DM, being the average value of EE in this study below this range (Martínez Turcios, 2017).

The starch content is between 10.3 and 34.2 g/100 g DM, where the average value is within the range but below the established DM amount (25 to 35 g/100 g DM), which should contain 28.031. 8 g/100 g DM of starch. The age of harvest influences starch content, as well as the sowing date or population density (Salama, 2019); as grains move towards advanced maturity, starch content increases (Guyader et al., 2018). However, the vitreous endosperm of the kernel also increases, generating grain hardness, and these dry grains are less susceptible to breakage during processing (Ferraretto et al., 2018).

The range of TDN is between 55 and 78 g/100 g DM (Fernández, 2014); thus, the average value of this component is within the range. It is necessary to consider the adverse effects of the harvest; in advanced stages of maturity, they damage the utilization of the grain, reducing the TDN of more than 40 g/100 g DM described by Ferraretto and Shaver (2012b). The energy value depends on the amount of NFC, starch, and NDFD, giving a value of milk per ton of DM and milk per surface (Nestor, 2010). The milk yield increases with the advance of maturity, reaching an optimal level for corn silage with 30-40 g/100 g DM (Khan et al., 2015).

As observed in Table 4, derived from the analyzed variables and according to their proper values (eigenvalue), the first five factors emerged, which explained 81.56 % of the total variance.

Table 4. Proper values and percentage of explained variance obtained in the factorial analysis of variables for corn silages worldwide

Number	Eigenvalue	Percent	Percent	Cum Percent
1	5.3870	38.5		38.5
2	2.1374	15.3		53.8
3	1.5669	11.2		65.0
4	1.2222	8.7		73.7
5	1.1045	7.90		81.6
6	0.8616	6.2		87.8
7	0.7089	5.1		92.9
8	0.5418	3.9		96.8
9	0.2230	1.6		98.4
10	0.1509	1.1		99.5
11	0.0727	0.2		99.7
12	0.0221	0.2		99.9
13	0.0009	0.05		100.0

Source: Elaborated by the authors

The integration of the variables for each conformed factor is shown in Table 5. Factor 1 (F1) represented the highest degree of contribution to total variability (38.5 %), composed of the variables related to TDN, Mcal/kg DM, NDF, NDFD, NFC, and starch. The variables of F2 corresponded to the Digestibility of DM and EE, including CP, DM, and EE, representing a substantial 15.3 % of the total variance. The F3 comprises two variables: production in kilograms of milk per ha, and milk yield in tons DM per ha (kg milk/ha and milk yield/t ha), corresponding to 11.19 % of the total variance. F4 comprises only one variable, NDF, accounting for 8.7 % of the total variance; and F5, OM, which makes up 7.9 % of the total variance.

Table 5. Definition of factors, integration of variables, and percentage of total variance contributing to the total variance

Factor	Variable	Percentage	Cumulative percentage
F1	NFC, NDFD, Starch, kg milk/t DM, TDN1 x DM, and Mcal/kg DM	38.5	38.5
F2	CP, DM, DMD, and EE	15.3	53.8
F3	kg milk/ha and DM yield/t ha	11.2	65.0
F4	NDF	8.7	73.7
F5	OM	7.9	81.6

Source: Elaborated by the authors

F1 explains most of the total variance of the present study (Tables 4, 5, and Figure 2) with the index of milk quality per ton of DM for corn silage, using an energy value derived from summative

equations (NRC, 2001), and the DMI predicted from the NDF content and as a basis for the NDF. Also, it uses a maintenance summative energy equation TDN from NRC (2001) for corn silage, including starch and non-starch NFC, with a starch digestibility coefficient; the energy value NEL-3x is derived from maintenance TDN, using the empirical equation from National Research Council (NRC, 1988). Improved utilization of starch and NDFD can increase milk production (Ferraretto & Shaver, 2012a). Whole plant corn silages typically contain 30 g/100 g DM of starch and 40 g/100 g DM of NDF; an increase in starch or NDF can result in higher lactation performance by dairy cows (Ferraretto & Shaver, 2015). NDFD favors higher DMI (Guyader et al., 2018) and metabolizable energy (Vanegas & Codero, 2019); also, higher milk production is mainly related to higher DMI (Ferraretto & Shaver, 2015), which also has higher TDN compared to fodder with lower NDFD (Combs, 2015).

F2 is related to harvest maturity (HM) that alters yield, nutrient composition, digestibility, and crop silage potential; most changes are associated with core development, which alters the proportion of HM contributed by its various fractions. Generally, there is a higher proportion of grains and reduced proportion of stem and leaves (Ferraretto et al., 2018). The sugars in the grains are converted into starch, and the DM content of the grains increases (Guyader et al., 2018); a delay in the harvest of the whole plant produces a higher concentration of starch and a low decrease in the concentrations of CP, NDF, EE, and ashes (Amodu et al., 2014; Ferraretto et al., 2018). The CP concentration is similar among hybrid corn, suggesting that harvest recommendations are based on maturity, and may vary according to the hybrid being grown (Ferraretto et al., 2015). Ferraretto and Shaver (2012b) found a decrease in fat corrected milk yield (FCM, 3.5 %) of 2.0 and 2.7 kg DM/cow per day on average, respectively, when the whole plant was harvested above 40 g/100g DM. Therefore, targeting 35 g/100 g DM at harvest is recommended to optimize the nutritional value of the whole plant and lactation yield in dairy cows (Ferraretto et al., 2018).

F3 shows the results of factors F1 and F2, where the harvest closest to grain maturity, within the DM window of 30 to 40 g/100 g DM, will have an adequate starch concentration and DM yield, as well as a higher NDFD and DMI, with the energy content of the whole plant (Guyader et al., 2018). Therefore, the optimal cutting time should be monitored to increase yield without decreasing its nutritional value (Vanegas & Codero, 2019).

For F4, the NDF concentration decreases typically with maturity due to the dilution effects of increasing starch concentration. Therefore, the high mean NDF concentration is consistent with the low mean starch concentration (Guyader et al., 2018). Delaying harvest time results in higher starch content in corn silage but compromises the NDF content, particularly the NDFD (Khan et al., 2015). DM, CP, and lignin contents increased with advanced maturity, but starch and NDF contents did not follow a pattern consistent with hybrid corn (Ferraretto & Shaver, 2015). In F5, ash content is used as an indirect method to estimate losses based on the assumption that as spoilage occurs, OM disappears, but the absolute amount of ash remains constant; ash content in the silage or silage core has small increases related to spoilage that represent percentage increases in the loss of OM (Borreani et al., 2018).

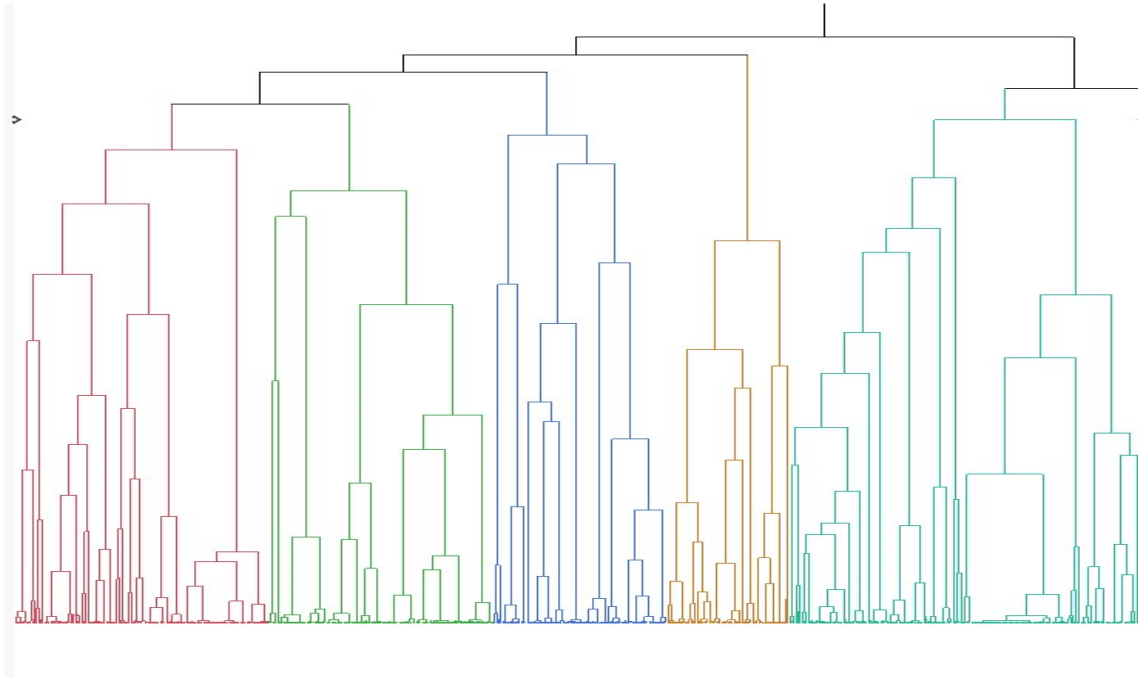


Figure 2. Hierarchical clusters obtained (dendrogram) from the cluster analysis of the variables, representing the grouping of the information sources. (CL1) called “Digestibility” (Red) because the associated variables were DMD, CP, NDFD, NEL, and kg milk t DM. The second (CL2), called “Density” (Green), was characterized by corn silage with higher density (number of plants/ha) and NDF %. In the third (CL3), called “Ash” (Blue), we can find those with the highest ash content. The fourth (CL4) was called “Average” (Orange) because it is made up of the average of all variables. The fifth (CL5), “Milk yield per ha” (Aqua), had the highest forage yield (DM yield/t ha) and kg milk/ha. The sixth (CL6), “kg milk/t” (Purple), had the greater DM, NDF, NEL digestibility (Mcal/kg DM), and kg milk/t DM.

According to the correlation analysis, the factors were finally integrated with their respective variables (Table 6), forming six CL: CL1 (123 observations), call “Starch,” includes its associated variables DMD, NDFD, TDN1xDM, Mcal/kg DM, and kg milk/t DM. CL2 (109 observations), called “EE,” was characterized by corn silage variables with the highest TDN1 x DM and Mega calories per kg of dry matter. CL3 (85 observations), called “DM,” has those with high NDFD content. In CL4 (59 observations), named “PD,” we can find a high yield of DM/ha and higher production of milk/ha. CL5 (169 observations) named “NDF” has the highest concentration of NDFD, and CL6 (2 observations) “CP” the higher content of CP.

CL1 “Starch” recorded the highest milk production (kg of milk/t DM) (Table 6), which was related to a higher concentration of Mcal/kg DM, influenced by its starch concentration, and of NFC, associated with DM yield. This association is due to one of the main factors that determine the nutritional quality of silage, which is the NDF content, resulting from the degree of maturity reached at the time of cutting, the corn variety (Khan et al., 2015), and the starch content in the plant (Ferraretto et al., 2015). In this group, we can assume the presence of early hybrid corn, with a higher DMD *in vitro* compared to intermediate or late cycle hybrids (Marchesini et al., 2019). Likewise, the early plants are smaller, with a higher production of cob and proportion of grain; this characteristic allows

for a low NDF content (Nuñez et al., 2001; Peña et al., 2002) and high grain content, compared to late-maturing hybrids (Lynch et al., 2012). In other studies, we found corn from temperate climates with higher DMD compared to those from tropical climates (Nuñez et al., 2001).

Some varieties of corn with a higher lysine content allow a softer endosperm, generating a higher DMD and starch content (Khan et al., 2015). Marchesini et al. (2019) mentioned that a lower NDF content occurs at advanced stages of maturity, resulting in higher grain and low fiber content. This grain increases the energy value (Ferraretto et al., 2018), providing a higher amount of starch (Depetris, 2013). This causes a dilution effect of the NDF (Souza et al., 2011), being the grain the most digestible part of the plant, resulting in a higher DMD *in vitro* (Guyader et al., 2018). Higher NDF levels are associated with increased starch content in late harvest; this concentration is a consequence of the transport of sugars from the remains to the cob to be converted into starch (Lynch et al., 2012). NDFD limits milk production and DMI; an increase in NDFD content of forage increases energy content and potentially milk production (Combs, 2015; Ferraretto & Shaver, 2015): “an increase of one unit in NDFD content in the diet results in 0.177 kg per day increase in DMI” (Hoffman et al., 2004). With a higher NDFD, the NDF increases the rumen passage rate, and there is an increase in the DMI (Guyader et al., 2018).

For CL2 “Fats” the late hybrids or tropical regions tend to produce a greater content of fibers and low digestibility compared to early genotypes and temperate regions (Peña et al., 2002). As a result of higher temperatures, they increase the fiber or lignin deposition because they increase the rate of plant development and the activity of enzymes that synthesize lignin (Bernardes et al., 2018); some studies show that the increase of lignin is a consequence of the lower content of leaves and higher content of fibers and stems. For Weiss and Wyatt (2000), a higher content of EE is present in corn with a higher content of oil, where we found 5 g/100 g DM more lipids than in conventional corn. A higher concentration of EE generates more energy compared to starch and protein (Jayanegara et al., 2019).

In CL3 “DM,” we found a high content of this component with an advanced maturity, where the concentration of CP was low (Allen et al., 2003; Arriola et al., 2012; Jiménez et al., 2016; Khan et al., 2015; Row, 2015); this level of CP is attributed to the increase of DM production, caused by the dilution of proteins in DM (Henrique et al., 2008). Similarly, with increasing maturity, the EE decreases (Amodu et al., 2014), which is related to the low leaf-stem-maturity ratio due to more leaves senescing during grain filling (Khan et al., 2015). González et al. (2006) mentioned that the differences between early and late hybrids might be due to this senescence in the leaves, observed in intermediate basal leaf hybrids with a longer drying time than early ones, increasing the DM; the loss in quantity and quality of leaves by senescence decreases nutritional quality (Khan et al., 2015).

With advanced maturity, structural carbohydrates increase due to the accumulation of cellulose and lignin (Amodu et al., 2014), grain sugars are converted into starch, and their DM content increases (Allen et al., 2003). These delays in the harvest of the whole plant produce a concentration of starch, which increases the NDFD by dilution effect (Ferraretto et al., 2018); corn harvested in the early grain-filling period or those genetically modified for low lignin content (brown central rib: BMR) degrade rapidly in the rumen and consequently increase the DMI (Khan et al., 2015) with a higher NDFD compared to dual-purpose corn (Der Bedrosian et al., 2012). Ferraretto and Shaver (2012b)

reported a decrease in milk yield when the whole plant was harvested above 40 g/100g DM; it should be harvested at 35 g/100 g DM to optimize the nutritional value of the whole plant and the milk yield (Ferraretto et al., 2018).

CL4 , “Density of plants/ha,” had a higher yield of DM/ha, influenced by the higher density of plants/ha (Cañadas et al., 2016), which indicated that higher production of kg milk/t DM is directly related to a higher yield of DM/ha and its contribution when making the estimations with the MILK2006® program.

In CL5 “NDF,” a lower DM content was observed, which is attributed to a forage harvested before reaching maturity, resulting in lower DM yields, starch, and energy concentrations (Allen et al., 2003; Arriola et al., 2012; Lynch et al., 2012). NDF values decrease with advancing maturity (Souza et al., 2011). It can be attributed to late or tropical hybrids that produce higher NDF content and low NDF (Peña et al., 2002). This can be attributed to late hybrids or hybrids grown in tropical zones that produce a higher NDF content (Peña et al., 2002). The corn grain filling period is slower in tropical zones, this is related to high temperatures, which increase DM to the most lignified tissues, causing an increase in DM and lignin content and generating a rapid filling of the cob, with a lower starch concentration, the above due to the impact of the enzyme starch synthase that controls starch synthesis (Bernardes et al., 2018). The selection of late-cycle hybrids indicates that obtaining higher stem hardness in corn increases pest and kernel resistance, resulting in higher NDF, ADF, and lignin content (Nuñez et al., 2001).

In CL6 “CP,” we find a high content of CP, which can be attributed to the use of anhydrous ammonia or urea as an additive (Yitbarek & Tamir, 2014). These additives generate a higher content of CP, up to 9.5 g/100 g DM (Demirel et al., 2003). According to Allen et al. (2003), the treatment with urea varies from 6.4 to 16.0 g/kg DM, while anhydrous ammonia increases the CP from approximately 8 to 12.5 g/100 g DM (Yitbarek & Tamir, 2014). For Rodríguez-Chacón et al. (2014), using dehydrated molasses and minerals decreases the OM content, as observed in the results obtained in this CL6.

Corn silage, a systematic review of the quality

Table 6. Analysis of variance (least squared means and standard error) and Tukey's test for the variables studied after integrating the six clusters

Variable	P-value	Cluster					
		CL1	CL2	CL3	CL4	CL5	CL6
DM yield/t ha	0.0001	14.69 ± 0.42 ^c	7.01 ± 0.45 ^c	11.79 ± 0.51 ^d	31.55 ± 0.61 ^a	18.50 ± 0.36 ^b	14.41 ± 3.30 ^{bcd}
Density/ha	0.0001	75,088 ± 1,980 ^b	50,000 ± 9,999 ^{bc}	65,889 ± 1,924 ^c	81,320 ± 1,250 ^a	No data	No data
DM	0.0001	32.44 ± 0.59 ^b	32.20 ± 0.63 ^b	45.02 ± 0.71 ^a	30.82 ± 0.86 ^{bc}	28.98 ± 0.51 ^c	33.85 ± 4.65 ^{abc}
DMD	0.0001	71.65 ± 0.81 ^a	53.52 ± 0.86 ^c	65.89 ± 0.97 ^b	54.63 ± 1.16 ^c	66.38 ± 0.69 ^b	70.15 ± 6.32 ^{abc}
CP	0.0001	7.96 ± 0.12 ^{bc}	7.53 ± 0.12 ^{cd}	7.21 ± 0.14 ^d	7.71 ± 0.17 ^{bcd}	8.10 ± 0.10 ^b	14.80 ± 0.90 ^a
NDF	0.0001	42.40 ± 0.49 ^d	45.87 ± 0.52 ^c	49.96 ± 0.59 ^b	47.52 ± 0.71 ^{bc}	58.20 ± 0.42 ^a	53.70 ± 3.85 ^{abc}
NDFD	0.0001	62.78 ± 0.28 ^a	61.45 ± 0.30 ^b	63.67 ± 0.34 ^a	60.74 ± 0.41 ^b	56.50 ± 0.24 ^c	58.63 ± 2.23 ^{abc}
NFC	0.0001	40.60 ± 0.51 ^a	36.66 ± 0.54 ^b	34.16 ± 0.61 ^{bc}	36.47 ± 0.73 ^{bc}	24.12 ± 0.44 ^d	21.05 ± 4.00 ^d
OM	0.0001	94.53 ± 0.07 ^b	93.90 ± 0.07 ^d	94.21 ± 0.08 ^c	95.26 ± 0.10 ^a	93.90 ± 0.06 ^d	71.65 ± 0.52 ^c
EE	0.0001	3.77 ± 0.06 ^{ab}	3.84 ± 0.06 ^a	2.98 ± 0.07 ^c	2.94 ± 0.08 ^c	3.56 ± 0.05 ^b	4.30 ± 0.45 ^{ab}
Starch	0.0001	29.77 ± 0.60 ^a	27.26 ± 0.64 ^b	24.49 ± 0.72 ^c	24.94 ± 0.86 ^{bc}	15.05 ± 0.51 ^d	31.05 ± 4.69 ^{abc}
TDN1xDM	0.0001	69.88 ± 0.23 ^a	69.80 ± 0.24 ^a	64.59 ± 0.28 ^c	68.62 ± 0.33 ^b	62.66 ± 0.20 ^d	65.76 ± 1.80 ^{abcd}
Mcal/kg DM	0.0001	1.49 ± 0.01 ^a	1.49 ± 0.04 ^a	1.33 ± 0.01 ^c	1.46 ± 0.01 ^b	1.33 ± 0.02 ^c	1.40 ± 0.04 ^{abc}
kg milk/t DM	0.0001	575.23 ± 3.08 ^a	575.73 ± 3.27 ^a	491.33 ± 3.71 ^c	559.67 ± 4.45 ^b	481.43 ± 2.63 ^c	521.25 ± 24.15 ^{abc}
kg milk/ha	0.0001	19,620.6 ± 522.4 ^b	9,486.4 ± 554.9 ^d	13,617.2 ± 628.4 ^c	39,612.3 ± 754.2 ^a	21,038.1 ± 445.7 ^b	No data
N		123	109	85	59	169	2

Source: Elaborated by the authors

Within the correlations of the analyzed variables shown in Table 7, the yield in tons of DM per ha has a positive correlation ($P > 0.001$) with the milk yield in kg per ha ($r = 0.91$). For NDF, we have a negative correlation: NFC ($r = -0.95$), starch ($r = -0.85$), NDFD ($r = 0.53$), TDN ($r = -0.72$), Mcal/kg DM ($r = -0.69$), and kg of milk/t DM ($r = -0.71$). NDFD has a positive correlation (P -value) with NFC ($r = 0.55$), TDN ($r = 0.61$), starch ($r = 0.48$), Mcal/kg DM ($r = 0.42$), and kg milk/t DM ($r = 0.49$). For NFC, there is a positive correlation with starch ($r = 0.80$) and a considerable positive correlation with TDN ($r = 0.67$), Mcal/kg DM ($r = 0.63$), and kg milk/t DM ($r = 0.65$). For starch, a positive correlation is observed with TDN ($r = 0.65$), Mcal/kg DM ($r = 0.63$), and kg milk/t DM ($r = 0.64$). TDN is positively correlated with Mcal/kg DM ($r = 0.97$) and kg milk/t DM ($r = 0.98$).

Density/ha has a positive correlation with DMD, which was an intermediate value ($r = 0.42$), attributed to greater competition for the space between plants, absorption of nutrients in the soil, and the uptake solar radiation for the photosynthesis process. This effect causes greater precocity (Sánchez et al., 2019) that will result in better DMD (Peña et al., 2002). Likewise, a positive correlation is noted with the variables CP, NDF, DM, and yield of DM/t, ha, but while positive, it was low. On the other hand, negative correlations are observed with the rest of the variables analyzed in this study. A lower NDFD has a negative influence on the behavior of eating and DM consumption (Grant & Ferraretto, 2018).

The correlation between forage yield/tons of DM and milk production/ha is significantly influenced by the population density, as a high population density increases the production of forage (kg/DM ha) (Table 7) (Guacapiña et al., 2018). A higher population density in the short season has small corn plants; as the population increases, the maturation and cutting date can be delayed, contributing to a decrease in the EE and starch content and an average NDF concentration (Guyader et al., 2018). With a large plant population, a higher forage yield of DM leads to higher milk production due to increased DMI (Ballard et al., 2001).

The correlation between DM and NDFD and starch was affected by the plant maturity stage, modifying the starch and NDFD content (Arriola et al., 2012). The maturity stages influenced NDF and NDFD concentrations of the whole plant. NDF content of the whole plant decreased with the maturity stage (Souza et al., 2011), showing that the DM content (> 35 g/100 g DM) mainly causes a decrease in the NFC, while at a very early stage of DM harvest (< 25 g/100 g DM), there is a relationship between starch and NDFD (Khan et al., 2015). The NDF correlations indicated that a higher NDF content commonly occurs with silage at very early maturity (< 25 g/100 g DM), resulting in lower starch content (Khan et al., 2015). Silage, the material with the most moisture, will generate a low concentration of NFC resulting from filtration by increased fluid production in the silo and a decrease in the NDFD (Guyader et al., 2018). Silage will have a low concentration of TDN, Mcal/kg DM, and lower DMI, resulting in lower milk yields (Khan et al., 2015).

Table 7. Correlation analysis of the variables related to corn silage (chemical composition) and milk yield (t/DM or kg/ha)

	DM yield/ t ha	Density/ ha	DM	DMD	CP	NDF	NDFD	NFC	OM	EE	Starch	TDN1 xDM	Mcal/kg DM	kg milk/t kg DM	kg milk/ha
DM yield/t ha		.03226	-0.0879	-0.0797	-0.0470	0.2431	-0.1771	-0.1898	0.1383	-0.2223	-0.2650	-0.1859	-0.1655	-0.1737	0.9067
Density/ha	0.031		0.0047	0.4187	0.2822	0.2652	-0.2058	-0.3299	-0.317	0.1364	-0.2744	-0.3441	-0.3437	-0.3413	-0.3191
DM	0.317	0.934		0.0959	-0.0875	-0.1741	0.4070	0.1804	0.0148	-0.0097	0.3389	0.0444	-0.0703	-0.0332	-0.0918
DMD	0.185	0.009	0.891		0.0543	-0.0557	0.0594	0.0196	-0.1229	0.0612	0.0292	-0.1376	-0.1656	-0.1541	-0.1076
CP	0.462	0.036	0.902	0.934		-0.0036	-0.0190	-0.1674	-0.2846	-0.0119	0.0012	0.0871	0.1076	0.1016	-0.0504
NDF	0.041	0.041	0.044	0.936	0.988		-0.5374	-0.9553	-0.0406	-0.0698	-0.8512	-0.7258	-0.6978	-0.7157	0.1182
NDFD	0.042	0.039	0.583	0.932	0.993	0.001		0.5541	0.0808	-0.3644	0.4875	0.6128	0.4218	0.4943	-0.0899
NFC	0.037	0.301	0.042	0.976	0.048	0.001	0.012		0.1408	-0.0266	0.8024	0.6761	0.6348	0.6569	-0.0693
OM	0.040	0.029	0.943	0.178	0.039	0.931	0.887	0.067		-0.1347	0.0186	0.1318	0.1265	0.1285	0.2563
EE	0.048	0.059	0.965	0.922	0.981	0.899	0.033	0.996	0.089		0.2006	0.0298	0.1418	0.1030	-0.1907
Starch	0.046	0.041	0.021	0.988	0.989	0.001	0.029	0.001	0.963	0.044		0.6578	0.6308	0.6476	-0.1609
TDN1xDM	0.043	0.036	0.953	0.352	0.872	0.001	0.018	0.001	0.103	0.991	0.011		0.9739	0.9888	-0.0216
Mcal/kg DM	0.048	0.037	0.876	0.047	0.653	0.001	0.021	0.001	0.112	0.059	0.012	0.001		0.9967	-0.0014
kg milk/t DM	0.047	0.039	0.938	0.049	0.639	0.001	0.022	0.001	0.105	0.087	0.011	0.001	0.001		-0.0087
kg milk/ha	0.932	0.042	0.912	0.124	0.932	0.815	0.902	0.905	0.039	0.046	0.048	0.993	0.994	0.991	

Source: Elaborated by the authors.

The NDF content was negatively correlated with digestibility (Salama, 2019); NDF affects DMI and milk production. Digestibility has a high impact on milk production. Forages with high NDF have higher NDF values (Combs, 2015); this NDF value was negatively correlated with NDF (Jayanegara et al., 2019). The strategy to improve the digestibility of NDF in silage is often related to reduced lignin or the concentration of indigestible NDF (Grant & Ferraretto, 2018). NDF content was negatively correlated with NCP (Jayanegara et al., 2019); an increase in NFC content decreases NDF content due to the dilution effect (Genero, 2015). NDFD decreased significantly with increasing DM content in corn silage from “very wet to dry”; however, in parallel to NDFD content, most of this decrease occurred when the DM content increased from very wet silages (Khan et al., 2015). A high NDFD of the whole plant occurs when it is harvested above 40 g/100 g DM, related to the effects of high digestibility by starch (Guyader et al., 2018); these changes reflect the transition from vegetative to reproductive growth in plants (Arriola et al., 2012). A high NDFD will generate high DMI and metabolizable energy (Vanegas & Codero, 2019), with high TDN values (Combs, 2015). The low TDN coefficient indicates its lower contribution to the energy available to cattle, which may be related to the negative effect of NDF, particularly the lignocellulose component on ruminal degradation and total digestibility of the tract (Jayanegara et al., 2019).

For the correlations given by NFC, Starch, TDN, and Mcal/kg DM, we can say that a high content of fermentable NFC from good quality corn silage will be in 27 and 32 g/100 g DM, with a high proportion of grain (Vanegas & Codero, 2019). The preceding is due to the process of starch formation, either by photosynthesis or in the reallocation of water-soluble carbohydrates from the stalk, which contributes significantly to the production of storable DM of NFC and starch (Khan et al., 2015). The concentrations of these components increased linearly with maturity, reflecting the transition from vegetative to reproductive growth in plants (Arriola et al., 2012). The high milk production observed by corn with high NDFD was mainly related to high DMI (Ferraretto & Shaver, 2015). Starch is the primary source of energy in corn silage and one of the primary sources of fermentable energy in the rumen (Khan et al., 2015). Starch is the main carbohydrate in NFC; its presence in the rations is increasingly high, given its high energy value and capacity to stimulate microbial population growth (Garrido, 2014). It will have high TDN values (Combs, 2015) and, therefore, a high Mcal/kg DM.

Conclusion

CL1 was characterized by a higher DMD, NDFD, NFC, and starch, allowing for a higher TDN1 x DM, energy concentration (Mcal/kg DM), and milk production (kg milk/t DM). In the same way, the characteristics of CL2 with higher EE content allow for a higher TDN1 x DM and energy concentration (Mcal/kg DM) to have higher milk production (kg milk/ha). The DM concentration increases in the whole plant because of maturity, affecting the starch content and NDFD; the DM content (> 35 g/100 g DM) mainly causes a decrease in the NDFD, while in a very early stage of DM harvest (< 25 g/100 g DM) a low ratio of starch: NDFD is present. NDF correlations indicate that a higher NDF content is commonly produced with silage at very early maturity (< 25 g/100 g DM), resulting in lower starch content. Silage material with high moisture content will generate a low NFC concentration resulting from silo filtration and a lower NDF.

This silage feed will have a low TDN, Mcal/kg DM concentration, and DMI, resulting in lower milk yields.

Acknowledgments

We thank the Universidad Autónoma del Estado de México for the support provided to this project [Grant number UAEM 4335/2017]. BS. Isidro Garcia was granted by CONACyT Fellowship, MS in Animal Production and Health Sciences, UNAM

Disclaimers

All the authors made significant contributions to the document and agree to its publication; further, all authors state no conflicts of interest in this study.

References

- Ali, W., Nadeem, M., Ashiq, W., Zaeem, M., Thomas, R., Kavanagh, V., & Cheema, M. (2019). Forage yield and quality indices of silage-corn following organic and inorganic phosphorus amendments in podzol soil under boreal climate. *Agronomy*, 9(9), 489-509
<https://doi.org/10.3390/agronomy9090489>
- Allen, M. S., Coors, J. G., & Roth, G. W. (2003). Corn silage. *Silage Science and Technology*, 42, 547608. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr42.c12>
- Amodu, J. T., Akpensuen, T. T., Dung, D. D., Tanko, R. J., Musa, A., Abubakar, S. A., Hassan, M. R., Jegede, J. O., & Sani, I. (2014). Evaluation of maize accessions for nutrients composition, forage and silage yields. *Journal of Agricultural Science*, 6(4), 178-187.
<http://dx.doi.org/10.5539/jas.v6n4p178>
- Arriola, K. G., Kim, S. C., Huisden, C. M., & Adesogan, A. T. (2012). Stay-green ranking and maturity of corn hybrids: 1. Effects on dry matter yield, nutritional value, fermentation characteristics, and aerobic stability of silage hybrids in Florida. *Journal of Dairy Science*, 95(2), 964-974. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4524>
- Ballard, C., Thomas, E., Tsang, D., Mandebvu, P., Sniffen, C., Endres, M. I., & Carter, M. (2001). Effect of corn silage hybrid on dry matter yield, nutrient composition, in vitro digestion, intake by dairy heifers, and milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 84(2), 442-452. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74494-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74494-3)
- 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., & Cai, Y. (2018). Silage review: Unique challenges of silages made in hot and cold regions. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4001-4019. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13703>
- Bertoia, L. M. (2015). *Algunos conceptos sobre el cultivo de maíz para ensilaje*. Facultad de Ciencias Agrarias Universidad Nacional de Lomas de Zamora. <https://studylib.es/doc/5246800/el-cultivo-de-maiz-para-ensilaje>
- Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R. J., Holmes, B. J., & Muck, R. E. (2018). Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3952-3979. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837>

- Calsamiglia, S., Ferret, A., & Bach, A. (2004). *Tablas FEDNA de valor nutritivo de forrajes y subproductos fibrosos húmedos* (2nd ed.). Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. <http://www.fundacionfedna.org/sites/default/files/TABLAS-WEBFORRAJES-SUBPHUMEDOS.pdf>
- Camarasa, J. N., Barletta, P. F., & Larrosa, F. (2019). Rendimiento de forraje y calidad nutricional con densidades bajas de maíz para ensilaje. *Revista de Tecnología Agropecuaria*, 10(40), 38-41. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/6104>
- Cañadas, Á., Molina, C., Rade, D., & Fernández, F. (2016). Interacción época/densidad de siembra sobre la producción de ocho híbridos de maíz forrajeros, Ecuador. *Revista MVZ Córdoba*, 21(1), 5112-5123. <https://doi.org/10.21897/rmvz.22>
- Cardozo, V. J. V. (2013). *El matarratón (Gliricidia sepium) en la alimentación de rumiantes*. [Thesis, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/1076>
- Chaudhary, D. P., Jat, S. L., Kumar, R., Kumar, A., & Kumar, B. (2014). Fodder quality of maize: Its preservation. In P. Chaudhary, S. Kumar & S. Langyan (Eds.), *Maize: Nutrition dynamics and novel uses* (pp. 153-160). <https://doi.org/10.1007/978-81-322-1623-0>
- Combs, D. (2015). *Forage quality and utilization: total tract NDF digestibility*. University of California Alfalfa & Forages. <https://alfalfa.ucdavis.edu/+symposium/2015/PDFfiles/CombsDave.pdf>
- Demirel, M., Yilmaz, İ., Deniz, S., Kaplan, O., & Akdeniz, H. (2003). Effect of addition of urea or urea plus molasses to different corn silages harvested at dough stage on silage quality and digestible dry matter yield. *Journal of Applied Animal Research*, 24(1), 7-16. <https://doi.org/10.1080/09712119.2003.9706429>
- Depetris, G. J. (2013). *Valor nutricional del grano y ensilaje de maíz en la alimentación de bovinos para carne*. Universidad Nacional de La Plata. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/47597>
- Der Bedrosian, M. C., Nestor, K. E., & Kung, L. (2012). The effects of hybrid, maturity, and length of storage on the composition and nutritive value of corn silage. *Journal of Dairy Science*, 95(9), 5115-5126. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4833>
- Fernández, M. A. (2014). *Impacto de los silajes de planta entera (maíz o sorgo) en los sistemas de engorde intensivo (pastoril ya corral)*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_pastoril_o_a_campo/33impacto_silajes.pdf
- Ferraretto, L. F., & Shaver, R. D. (2012a). Effect of corn shredlage on lactation performance and total tract starch digestibility by dairy cows. *The Professional Animal Scientist*, 28(6), 639-647. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30423-X](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30423-X)
- Ferraretto, L. F., & Shaver, R. D. (2012b). Meta-analysis: Effect of corn silage harvest practices on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *The Professional Animal Scientist*, 28(2), 141-149. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30334-X](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30334-X)

- Ferraretto, L. F., & Shaver, R. D. (2015). Effects of whole-plant corn silage hybrid type on intake, digestion, ruminal fermentation, and lactation performance by dairy cows through a metaanalysis. *Journal of Dairy Science*, 98(4), 2662-2675. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9045>
- Ferraretto, L. F., Shaver, R. D., & Luck, B. D. (2018). Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3937-3951. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13728>
- Ferraretto, L. F., Shaver, R. D., Massie, S., Singo, R., Taysom, D. M., & Brouillette, J. P. (2015). Effect of ensiling time and hybrid type on fermentation profile, nitrogen fractions, and ruminal in vitro starch and neutral detergent fiber digestibility in whole-plant corn silage. *The Professional Animal Scientist*, 31(2), 146-152. <https://doi.org/10.15232/pas.2014-01371>
- Garrido, A. G. (2014). Los carbohidratos en la alimentación de la vaca de leche. *Frisona Española*, 34(200), 106-109. <http://www.iberliquidos.es/assets/los-carbohidratos-en-laalimentacion-de-la-vaca-de-leche.pdf>
- Genero, G. A. (2015). Efecto del ensilaje de maíz nervadura marrón sobre la respuesta productiva de vacas lecheras en estabulación y parámetros de fermentación in vitro [Master's thesis, Universidad del Mar del Plata]. https://repo.unlpam.edu.ar/bitstream/handle/unlpam/938/0_genefe000.pdf?sequence=1
- González, C. F., Núñez, H. G., & Peña, R. A. (2006). Etapas de corte, producción y calidad forrajera de híbridos de maíz de diferente ciclo biológico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(2), 103-107. https://doi.org/10.35196/rfm.2006.Especial_2.103
- Grant, R. J., & Ferraretto, L. F. (2018). Silage review: Silage feeding management: Silage characteristics and dairy cow feeding behavior. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4111-4121. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13729>
- Guacapiña, A., Rodríguez, L. F., & Godoy, A. (2018). Evaluación de la variedad de maíz (*Zea mays* L.) INIAP-180, para la elaboración de ensilaje. In C. Yañez, M. Racines, C. Sangoquiza & X. Cuesta (Eds.). *Primer Congreso Internacional De ciencia y Tecnología Agropecuaria, Fomentando la seguridad y Soberania Alimentaria* (pp. 190-192). <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5074>
- Guerrero, J. E. L., Rojas, A. F. V., Cortés, M. M. A., & Fernández, L. F. C. (2018). Panorama general de los organismos genéticamente modificados en Colombia y en el mundo: Capacidad nacional de detección. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(2), 101-116. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n2.77080>
- Guyader, J., Baron, V., & Beauchemin, K. (2018). Corn forage yield and quality for silage in short growing season areas of the Canadian prairies. *Agronomy*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/agronomy8090164>
- Henrique, V. H., Vilela, R. A., Paulo, F. V., Augusto, A., Gustavo, R. E. A., & Benedito, S. A. G. (2008). Valor nutritivo de silagens de milho colhido em diversos estádios de maturação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(7), 1192-1199. <https://doi.org/10.1590/S151635982008000700008>
- Hidalgo, E. M., Bustamante, M. B., Pincay, C. M., Ubilla, L. D., & Cedeño, C. C. (2018). Evaluación de la calidad nutricional de los ensilajes en bolsa de los híbridos de maíz

- Somma y Trueno aplicando dos aditivos en la zona de Colimes. *Espirales Revista Multidisciplinaria de Investigación*, 2(15), 137-153. <http://revistaespirales.com/index.php/es/article/view/222>
- Hoffman, P., Combs, D., Contreras, G. F. E., & Neutro, D. (2004). Uso de la digestibilidad del FDN en la formulación de raciones. *Focus Forage*, 6, 1-5. <https://fyi.extension.wisc.edu/forage/files/2014/01/NDFDRationesp-FOF1.pdf>
- Jayanegara, A., Ridla, M., & Laconi, E. (2019). Estimation and validation of total digestible nutrient values of forage and concentrate feedstuffs. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/546/4/042016>
- Jiménez, L. D., Romo, R. J., Flores, A. L., Ortiz, L. B., & Barajas, C.R. (2016). Edad de corte en la composición química del ensilado de maíz blanco asgrow-7573. *Abanico Veterinario*, 6(3), 13-23. <https://doi.org/10.21929/abavet2016.63.1>
- Khan, N. A., Yu, P., Ali, M., Cone, J. W., & Hendriks, W. H. (2015). Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(2), 238-252. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6703>
- Leonhart, D., & Beneitez, A. (2019). Maíz. In F. Kent (Ed.), *Forrajas cultivadas anuales y perennes más difundidas en la provincia de La Pampa* (pp. 27-32). Ediciones INTA Anguil. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_forrajas_cultivadas_anuales_y_perennes_mas_difundidas_en_la_provincia_de_la_pampa_0.pdf
- Lynch, J. P., O’Kiely, P., & Doyle, E. M. (2012). Yield, quality and ensilage characteristics of whole-crop maize and of the cob and stover components: harvest date and hybrid effects. *Grass and Forage Science*, 67(4), 472-487. <https://doi.org/10.1111/j.13652494.2012.00868.x>
- Mandić, V., Bijelić, Z., Krnjaja, V., Simić, A., Petričević, M., Mičić, N., & Caro, P. V. (2018). Effect of harvesting time on forage yield and quality of maize. *Biotechnology in Animal Husbandry*, 34(3), 345-353. <https://doi.org/10.2298/BAH1803345M>
- Marchesini, G., Serva, L., Chinello, M., Gazziero, M., Tenti, S., Mirisola, M., Garbin, E. M., Contiero, B., Grandis, D., & Andrighetto, I. (2019). Effect of maturity stage at harvest on the ensilability of maize hybrids in the early and late FAO classes, grown in areas differing in yield potential. *Grass and Forage Science*, 74(3), 415-426. <https://doi.org/10.1111/gfs.12438>
- Martínez Turcios., D. A. (2017). *Evaluación nutricional del ensilaje de maíz cosechado en cuatro etapas fenológicas elaborado con tres calibres de picado* [Bachelor’s thesis, Escuela Agrícola Panamericana]. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6111/1/CPA-2017066.pdf>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D.G. (2009). The PRISMA Group. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med*, 6(6), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- National Research Council (NRC, I). (1988). Nutrient requirements of dairy cattle (Update, 1989). National Academy Science.
- National Research Council (NRC, I) (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle*. National Academy Science.

- Nestor, K. (2010). *Silage quality: how is it defined and measured?* University of California Alfalfa & Forages. <https://alfalfa.ucdavis.edu/+symposium/proceedings/2010/10-139.pdf>
- Nuñez, H. G., Faz, C. R., Tovar, G. M. R., & Zavala, G. A. (2001). Híbridos de maíz para la producción de forraje con alta digestibilidad en el norte de México. *Técnica Pecuaria en México*, 39(2), 77-88. <https://www.redalyc.org/pdf/613/61339203.pdf>
- Peña, R. A., Nuñez, H. G., & González, C. F. (2002). Potencial forrajero de poblaciones de maíz y relación entre atributos agronómicos con la calidad. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 40(3), 215-228. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1300>
- Rivas, J. M. A., Carballo, C. A., Quero, C. A. R., Hernández, G. A., Vaquera, H. H., Rivas, Z. E. C., Rivas, Z. M. A., & Rivas, Z. E. J. (2018). Comportamiento productivo de doce híbridos trilineales de maíz para forraje en una región tropical seca. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 21(3), 579-586. <https://www.semanticscholar.org/paper/PRODUCTIVE-BEHAVIOUR-OF-TWELVE-THREELINEAL-FORAGE-A-Jacobo-Carballo/77270b535982ba1cc1a5fc6b38ec1ad6c98763f9>
- Rodríguez-Chacón, S., López-Herrera, M., WingChing-Jones, R., & Rojas-Bourrillón, A. (2014). Adición de melaza deshidratada y urea en ensilados de rastrojos de piña. *Agronomía Mesoamericana*, 25(2), 312-321. <https://doi.org/10.15517/am.v25i2.15438>
- Row, C. A. (2015). Corn plant maturity effect on yield and nutritional quality; corn silage inoculation on performance of cattle fed silage with or without live yeast added [Master's thesis, University of Nebraska]. <https://digitalcommons.unl.edu/animalscidiss/110/>
- Salama, H. S. A. (2019). Yield and nutritive value of maize (*Zea mays* L.) forage as affected by plant density, sowing date and age at harvest. *Italian Journal of Agronomy*, 14(2), 114-122. <https://doi.org/10.4081/ija.2019.1383>
- Sánchez, H. M. Á., Cruz, V. M., Sánchez, H. C., Morales T. G., Rivas J. M. A., & Villanueva, V. C. (2019). Rendimiento forrajero de maíces adaptados al trópico húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(3), 699-712. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1546>
- Sánchez, L. W., & Hidalgo, A. C. (2018). Potencial forrajero de nueve híbridos de maíz en la zona alta lechera de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 29(1), 163-174. <http://dx.doi.org/10.15517/ma.v29i1.27732>
- Santana, R. F., Granillo, M. R., Espinoza, S. F. I., Aguilar, O. J. C., & Ortega, Z. J. G. (2018). Caracterización de la cadena de valor del maíz. Ingenio y Conciencia. *Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 5(9). <https://doi.org/10.29057/ess.v5i9.2899>
- SAS. (2007). *User's Guide: Statistical Analysis System*. SAS Institute.
- Shaver, R., Lauer, J., Coors, J., & Hoffman, P. (2006). *Corn silage evaluation: MILK2000 challenges and opportunities with MILK2006*. Department of Dairy Science University of Wisconsin. <https://www.semanticscholar.org/paper/Corn-Silage-Evaluation-%3A-MILK-2000Challenges-and-Shaver/e721a1b5606c25a11382872d62b95f21f0b09370>
- Souza, F. A. X., Von Pinho, R. G., Resende, P. J. L. A., Costa dos Reis, M., Vilela R. A., & Diego, C.M. (2011). Influence of stage of maturity on bromatological quality of corn forage.

- Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(9), 1894-1901.
<https://doi.org/10.1590/S151635982011000900008>
- Vanegas, R. J. L., & Codero, A. O. V. (2019). Ensilaje como fuente alterna de alimentación del ganado de bovino en la producción lechera. *Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal*, 3(2), 129-162.
<http://revistaecuadorianadecienciaanimal.com/index.php/RECA/article/download/125/122>
- Weiss, W., & Wyatt, D. (2000). Effect of oil content and kernel processing of corn silage on digestibility and milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 83(2), 351-358.
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)74886-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74886-7)
- Yitbarek, M., & Tamir, B. (2014). Silage Additives: Review. *Open Journal of Applied Sciences*, 4(5), 258-274. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2014.45026>
- Zaragoza, E. J., Tadeo, R. M., Espinosa, C. A., López, L. C., García, E. J. C., Zamudio G. B., Turrent, F. A., & Rosado N. F. (2019). Rendimiento y calidad de forraje de híbridos de maíz en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1), 101-111.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1403>

**LA REVISTA CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGROPECUARIA
INFORMA QUE:**

El artículo titulado "*Corn silage, meta-analysis of the quality and yield of different regions in the world*" identificado con el código 2544 y cuyos autores son: Isidro García-Chávez, Edgar Meraz-Romero, Octavio Castelán-Ortega, Joob Zaragoza-Esparza, Jorge Osorio-Avalos, Lizbeth Esmeralda Robles-Jiménez, Manuel González-Ronquillo; surtió las etapas de pre-revisión de asistente editorial y editor jefe, revisión de editor temático y evaluación de pares externos y fue aprobado para su publicación. Actualmente está en corrección de estilo y diagramación para publicar en el número Vol. 23 No. 3 de 2022.

Esta información se expide a solicitud del interesado, en la ciudad de Bogotá a los 25 días del mes de mayo de 2022.



ANDRÉS CORTÉS VERA
Editor Científico
Revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria

IV. DISCUSIÓN

A nivel mundial los principales productores de maíz son Estados Unidos (USA), China y Brasil (Santana et al., 2018) sin embargo, la utilización como fuente forrajera para alimentación de bovinos se realiza en Norteamérica, Sudamérica y Europa (Sánchez e Hidalgo, 2018). Como lo menciona Bernades *et al.*, (2018) la mayoría de observaciones de Norteamérica y Europa, está relacionado a que la elaboración de ensilado se establece mejor en estas zonas templadas. Para el tipo de maíz utilizado podemos encontrar una menor cantidad de cultivos genéticamente modificados (GMO) relacionado esto a su utilización que es regulada por la legislación en países de Europa y Asia, su concentración en América se relaciona a que se siembran el 87.00% de la superficie de GMO a nivel mundial. La Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA), de los Estados Unidos de America considera que los alimentos GMO no difieren significativamente en producción y calidad a los convencionales (Guerrero et al., 2018). Las variedades criollas siguen utilizándose para la elaboración de ensilados por el porte alto y resistencia al clima y plagas, mientras que los híbridos son de aporte pequeño produciendo poca biomasa, debido a la selección de estas variedades para un mayor rendimiento de grano y no por su rendimiento en biomasa (Sánchez et al., 2019).

La influencia del rendimiento forrajero del maíz por la densidad de siembra, se encuentra entre un valor medio entre la mayor densidad y la densidad tradicional (Guacapiña et al., 2018); una mayor densidad de plantas por hectárea afecta positivamente la producción de rendimiento de MS por superficie presentando una mayor producción de forraje verde (Camarasa et al., 2019). Guacapiña et al., (2018) encontraron que un aumento en las densidades de siembra, aumentan la cantidad de MS y forraje verde, sin modificar la calidad (FDN y digestibilidad) del forraje ensilado. El momento óptimo de corte de maíz para ensilar, se sitúa en un contenido de MS entre el 30.00% y 35.00% de MS, tanto desde el punto de vista productivo como de la calidad del forraje (Calsamiglia et al., 2016; Vanegas y Cordero, 2019), la media presente en los ensilados evaluados concuerda con la cantidad de MS en un ensilado (Zaragoza et al., 2019), donde se obtiene una mejor calidad nutritiva y un mayor rendimiento de MS.

Una menor cantidad de MS dificulta el proceso, por dilución y arrastre de los carbohidratos, hacia el fondo del silo. Por el contrario, una gran cantidad de MS provoca dificultad en el compactado y el aire retenido provoca calentamiento y quemadura en el material ensilado y pérdidas en su calidad (Vanegas y Cordero, 2019). Guyader et al., (2018) mencionan que ensilar material con alta humedad (<28.00% de MS) dará una mayor filtración en el silo y reducirá el consumo de MS, mientras que el material demasiado seco (>40.00% de MS) por la dificultad de compactar, el oxígeno presente producirá una mala fermentación en el silo.

La dMS de un forraje de alta calidad se encuentra alrededor del 70.00% de dMS in vitro MS (Cardozo, 2013); la dMS en el presente estudio, se encuentra por debajo de los parámetros descritos en el meta-análisis de Ferraretto y Shaver, (2012b) de 66.30% a 69.10%, pero dentro del rango, de 52.00% a 68.00% de MS, descritos por Chaudhary et al., (2014). Esto puede estar relacionado el estado de madurez de la planta al momento de la cosecha, a madurez avanzada, disminuye la digestibilidad in vitro de MS (Arriola et al., 2012). La concentración PC se sitúa entre el 8.00% y 11.00% (Chaudhary et al., 2014), situando el valor medio por debajo del rango establecido, aunque el contenido de proteínas puede variar entre 5.20% y 7.50%, teniendo en cuenta que para un buen forraje la PC debe ser mayor 7.00% (Ali et al., 2019)

La FDN reportada por Calsamiglia et al., (2016) se encuentra entre 44.90% y 57.00% de FDN, en donde el valor medio de los ensilados se encuentra dentro de este rango, considerando que un forraje de buena calidad tiene una FDN menor al 50.00% (Ali et al., 2019). Mientras que la digestibilidad de FDN (DFDN) es superior a la descrita por Ferraretto y Shaver, (2012b) con un contenido entre 42.40% a 48.90% de DFDN. Sin embargo, a pesar de que es deseable un mayor DFND, esta puede reducir la digestibilidad del almidón a través de un aumento de la velocidad de paso del almidón en el tracto gastrointestinal (Ferraretto y Shaver, 2015). Una mayor DFDN está asociado con el comportamiento en la alimentación y patrones de aumento en el consumo de MS (Grant y Ferraretto, 2018). El contenido de CFN se encuentra entre 27.00% y 32.00%, permitiendo una buena fermentación (Vanegas y Cordero, 2019); la media de CFN en el meta-análisis es mayor a los 30.00%, característica de un forraje de buena calidad (Ali et al., 2019). La MO se encuentra por debajo de los valores mencionados por Calsamiglia et al., (2016) situados entre 95.82% y 95.82%, representando

una mayor concentración de cenizas, misma que a su vez produce una disminución de CNF, por lo tanto, disminución en los valores de TDN (Ferraretto y Shaver, 2015). El contenido de EE se sitúa entre el 3.76% y 4.54%, situándose por debajo de este rango el valor medio de EE en el presente estudio, este resultado puede deberse a que el almidón en el grano fue aumentando paulatinamente, afectando el contenido de EE en estadios maduros (Martínez y Daniela, 2017)

El contenido de almidón se sitúa entre 10.30% y 34.20%, donde el valor medio se encuentra dentro del rango, pero debajo de lo establecido para la cantidad de MS presente, entre 25.00% y 35.00%, por lo que debería de estar en el rango de 28.00% a 31.80% de almidón; la edad de cosecha ejerce influencia sobre el contenido de almidón, así como la fecha de siembra y/o la densidad de la planta (Salama, 2019); a medida que los granos se dirigen hacia una madurez avanzada, aumenta el contenido de almidón (Guyader et al., 2018); sin embargo, el endospermo vítreo del núcleo también aumenta, generando dureza del grano y estos granos secos, son menos susceptibles a la rotura durante su procesamiento (Ferraretto et al., 2018).

El rango de TND se encuentra entre 55.00% y 78.00% (Fernández, 2014), donde podemos observar que el valor medio de este componente se encuentra dentro del rango. Hay que tener presente algunos efectos negativos al momento de la cosecha, como estados de madurez avanzada perjudican la utilización del grano, con una reducción del TND con más de 40.00% descrito por Ferraretto y Shaver, (2012b). El valor de energía es dependiente de la cantidad de CNF y almidón, así como la DFDN, que dan un valor de leche por tonelada de MS y de leche por superficie (Nestor, 2010). El rendimiento de leche aumentó con el avance de la madurez, alcanzando un nivel óptimo para ensilados de maíz con contenidos de MS entre 30.00% y 40.00% (Khan et al., 2014)

En la Tabla 4, 5 y la Figura 1 podemos notar que el F1 explica la mayoría de la varianza total del presente estudio, en el cual el índice de calidad de la leche por tonelada de MS para el ensilado de maíz se genera utilizando un valor energético derivado de ecuaciones sumativas (NRC, 2001) y del CMS pronosticada a partir del contenido de FDN y como base la DFDN; utilizando una ecuación de energía sumativa de mantenimiento TDN del NRC, (2001) para el ensilado de maíz, donde se incluyen los CFN con almidón y sin almidón con un coeficiente de digestibilidad del almidón; el valor de energía NEL-3x se deriva del TDN en

mantenimiento, utilizando la ecuación empírica del NRC, (1989). El almidón es la principal fuente de energía metabolizable en los ensilados de maíz, y se ha considerado como la característica más importante de los ensilados de maíz (Khan et al., 2014); este representa aproximadamente la mitad del valor energético de toda la planta (NRC, 2001); la fibra también es un componente esencial de las dietas, aportando de un 20.00% a un 25.00% de la energía proveniente de la fibra ingerida (Combs, 2015). La mejora en su utilización del almidón y la DFDN puede aumentar el rendimiento de la producción de leche (Ferraretto y Shaver, 2012a). Los ensilados de maíz de planta entera típicamente contienen 30.00% y un 40.00% de FDN; un aumento de almidón o la DFDN puede resultar en un mayor rendimiento de la lactancia por vacas lecheras (Ferraretto et al., 2015). La DFND favorece un mayor CMS (Guyader et al., 2018) y de energía metabolizable (Vanegas y Cordero, 2019) por consiguiente una mayor producción de leche, relacionada con un mayor CMS (Ferraretto y Shaver, 2015), donde también se tienen mayor TDN en comparación con forrajes con menores DFDN (Combs, 2015).

Para el F2 está relacionado con madurez en la cosecha (MS) que altera el rendimiento, la composición de nutrientes y digestibilidad de los ensilados, la mayoría de los cambios están asociados con el desarrollo del núcleo, que altera la proporción de MS contribuido por sus diversas fracciones, por lo general hay una mayor proporción de granos y porciones reducidas de tallo y hojas (Ferraretto et al., 2018). Los CFN de los granos se convierten en almidón y el contenido de MS de los granos aumentan (Guyader et al., 2018); un retraso en la cosecha de la planta entera, produce una mayor concentración de almidón y una disminución en las concentraciones de PC, FDN, EE y cenizas (Amodu et al., 2014; Ferraretto et al., 2018). La concentración de PC es similar entre maíces híbridos, lo que sugiere que las recomendaciones para la cosecha se basan en la madurez, y puede variar según el híbrido cultivado (Ferraretto et al., 2015). La mayor madurez de la planta entera a la cosecha afecta el rendimiento de la lactancia por vacas lecheras, a mayor estado de madurez y con una estimación del contenido valor nutritivo del ELN se logra una mayor producción cuando se cosecha a aproximadamente 35.00% de MS (Ferraretto et al., 2018). Ferraretto y Shaver, (2012b) encuentran una disminución en rendimiento de leche corregido en grasa (FCM, 3.50%) de 2.00% y 2.70% por vaca por día en promedio, respectivamente, cuando la planta entera se cosechó por encima de 40.00% de MS. Por lo tanto, un 35.00% a la cosecha se recomienda

para optimizar el valor nutritivo de la planta entera y el rendimiento de la lactancia en vacas lecheras (Ferraretto et al., 2018).

El F3 muestra los resultados de los factores F1 y F2 donde la cosecha más cerca a 30.00% y 40.00% de MS tendrá una concentración adecuada de almidón y un adecuado rendimiento de MS, así como una mayor DFDN y CMS, con un contenido adecuado de energía de toda la planta (Guyader et al., 2018); Por lo tanto se debe monitorear el momento óptimo de corte, para tener un mejor rendimiento, sin disminuir su valor nutritivo (Vanegas y Cordero, 2019); la madurez progresiva de la cosecha de maíz durante el período de llenado del grano aumenta el contenido de MS y almidón, disminuyendo el contenido de FDN y PC (Khan et al., 2014)

Para el F4, la concentración de FDN normalmente disminuye con la madurez debido a los efectos de dilución por un aumento en la concentración de almidón. Por lo tanto, una alta concentración media de FDN es consistente con una baja concentración media de almidón (Guyader et al., 2018). El retraso en el tiempo de cosecha se obtiene un mayor contenido de almidón en los ensilados de maíz, pero compromete el contenido de FDN, particularmente la DFDN (Khan et al., 2014). Los contenidos de MS, PC y lignina aumentaron con la madurez, pero los contenidos de almidón y FDN no siguieron un patrón consistente en maíces híbridos (Ferraretto y Shaver, 2015). Las concentraciones de almidón y MS aumentaron o tendieron a aumentar con la madurez, mientras que las concentraciones de FDN disminuyeron (Arriola et al., 2012). En F5, la cantidad de cenizas es utilizada como un método indirecto para estimar las pérdidas basadas en el supuesto de que a medida que se produce el deterioro la MO desaparece, pero la cantidad absoluta de cenizas permanece constante. El contenido de ceniza en el ensilado presenta pequeños aumentos relacionados con el deterioro porcentual de la pérdida de MS (Borreani et al., 2018)

En la Tabla 6, el CL1 “Almidón” se registró la mayor producción de leche (kg de leche/tonelada/MS/ha⁻¹) relacionado por la mayor concentración de Mcal/kg/MS, influenciada por su concentración de almidón, y de CFN, asociados a la DMS y esta asociación se debe a uno de los principales factores que determina la calidad nutricional del ensilado, que es el contenido de la DFDN resultante del grado de madurez alcanzado al momento del corte, la variedad de híbrido (Khan *et al.*, 2014); y el contenido de almidón presente en la planta (Ferraretto et al., 2015). En este grupo podemos suponer que hay

presencia de maíces híbridos precoces, quienes presentan una mayor DMS in vitro, en comparación con híbridos de ciclo intermedio o tardío (Marchesini et al., 2019), así mismo, las plantas precoces son de menor tamaño, con una mayor producción de mazorca y proporción de granos; esta característica permite tener un bajo contenido de FDN (Núñez et al., 2001; Peña et al., 2002); y presentan alto contenido de grano en comparación con los híbridos de maduración tardía (Lynch et al., 2013). En otro caso, podemos encontrar maíces de climas templados que presentan una mayor DMS en comparación con los de climas tropicales (Núñez et al., 2001).

Algunas variedades híbridas de maíz con un mayor contenido de lisina, permiten un endospermo más suave, generando una mayor DMS y contenido de almidón (Khan et al., 2014). Marchesini et al. (2019) mencionan que un menor contenido de FDN se muestran en etapas de madurez avanzada, como resultado un mayor contenido de grano, con un bajo contenido de fibras; este grano resulta en un aumento del valor energético (Ferraretto et al., 2018), aportando mayor cantidad de almidón (Depetris, 2013), y este presenta un efecto de dilución de la FDN (Souza et al., 2011), siendo el grano la fracción con mayor digestibilidad de la planta, resultando en una mayor DMS in vitro (Guyader et al., 2018).

Los mayores niveles de CNF están asociados por un aumento en el contenido de almidón en la cosecha tardía, esta concentración es consecuencia del transporte de CFN de los restos a la mazorca para convertirse en almidón (Lynch et al., 2013). La DFDN limita la producción de leche y el CMS; al tener un aumento de DFDN en el contenido del TDN del forraje aumenta, incrementando el contenido de energía y potencialmente de producción de leche (Combs, 2015; Ferraretto y Shaver, 2015); “un incremento de una unidad en el contenido de DFDN en la dieta, resulta en un 0.177 kg por día de incremento en el consumo de materia seca” (Hoffman et al., 2007); con una mayor DFDN, la FDN incrementa la velocidad de paso en el rumen y un incremento de del CMS (Guyader et al., 2018). Ferraretto et al. (2018) Encuentran que la digestibilidad de nutrientes (MS, FDN, MO y almidón) fue mayor para maíces de tipo frondoso, seguidos de maíces de doble propósito y de nervio central marrón; los cuales presenta una mayor DFDN in vitro, estas digestibilidades, pueden estar relacionadas con una menor cantidad de grano vítreo, en comparación con híbridos de doble propósito y nervio central marrón.

Para el CL2 “Grasa”, podemos encontrar los híbridos tardíos o tropicales que tienden a producir un mayor contenido de fibras y baja digestibilidad respecto a genotipos precoces y templados (Peña et al., 2002); a mayores temperaturas, incrementa una mayor deposición de fibra o lignina, porque aumentan la tasa del desarrollo de la planta y la actividad de enzimas sintéticas de lignina (Bernardes et al., 2018); algunos trabajos mencionan que el aumento se debe a la menor cantidad de hojas y las fibras y tallos mayormente lignificados. Para Weiss y Wyatt (2000) un mayor contenido de EE se presenta con maíces con mayor contenido de aceite, donde encontramos 5%¹ más de lípidos que en maíces convencionales; los maíces NutriDense, que fueron desarrollados para producir granos con gran proporción de embrión, y consecuentemente mayor contenido de lípidos, proteína y algunos aminoácidos esenciales y los maíces alto oleico que presentan una composición de ácidos grasos modificada, logrando aceites de maíz de mejor calidad (De León, et al., 2011; Ferraretto y Shaver, 2015); al mantener una mayor concentración de EE, observándose un mayor contenido en la densidad de energía, en comparación con los carbohidratos (Allen et al., 2003), presentando una mejor concentración de Mcal/kg/MS y TDN. Una mayor concentración de EE genera más energía en comparación con el almidón y la proteína (Jayanegara et al., 2019).

En el CL3 “Materia Seca”, encontramos un alto contenido de este componente, caracterizado por una madurez avanzada, donde la concentración de PC será baja (Allen et al., 2003; Arriola et al., 2012; Jiménez et al., 2016; Khan et al., 2014; Row, 2015); Este nivel de PC se atribuye al aumento de producción de MS y esto causa la dilución de proteínas en la MS (Henrique et al., 2008). Del mismo modo, con la madurez el EE disminuye (Amodu et al., 2014) relacionado con la baja relación hoja: tallo y su maduración, por la mayor cantidad de hojas en senescencia durante el llenado de grano (Kahn et al., 2014). González et al., (2006) mencionan que las diferencias entre híbridos precoces y tardíos pueden deberse a esta senescencia en hojas, observando en híbridos intermedios hojas basales con un secado más prolongado que los precoces, incrementando la MS; la pérdida en cantidad y calidad de hojas por la senescencia, disminuye la calidad nutricional (Khan et al., 2014). El avance de la madurez, los carbohidratos estructurales aumentaron debido a la acumulación de celulosa y lignina (Amodu et al., 2014) y los CFN de los granos se convierten en almidón y su contenido de MS aumenta (Allen et al., 2003); estos retrasos en la cosecha de la planta entera, produce una concentración de almidón, que aumenta la DFDN por efecto de dilución (Ferraretto et

al., 2018); los maíces cosechados en el periodo temprano de llenado de granos o aquellos modificado genéticamente para un bajo contenido de lignina (nervio central marrón: BMR), se degradan rápidamente en el rumen y por consiguiente aumentan el CMS (Khan et al., 2014); presentando una mayor DFDN en comparación con maíces de doble propósito (Der Bedrosian et al, 2012).

Ferraretto y Shaver, (2012b) informaron una disminución en rendimiento de leche, cuando la planta entera se cosechó por encima del 40.00%; con un contenido de 35.00% de MS a la cosecha optimiza el valor nutritivo de la planta entera y rendimiento de leche (Ferraretto et al., 2018) se puede asociar al endospermo expuesto, que no se digiere completamente debido a la existencia de proteína zeína del almidón, debido al grado de madurez en la cosecha (Ferraretto et al., 2015)

El grupo CL4 “Densidad de plantas por ha” presentó un mayor rendimiento de MS por hectárea, influenciado por la mayor densidad de plantas por superficie (Cañadas et al., 2016) mostrando que una mayor producción de kg de leche por tonelada de materia seca está directamente relacionado con un mayor rendimiento de MS por superficie y su contribución al momento de hacer las estimaciones con el programa MILK2006®. La mayor producción de leche por hectárea se debe a su mayor rendimiento de materia seca, que a la calidad del forraje per se, los contenidos de FDN y PC se mantuvieron sin cambios significativos (González et al., 2006)

En el CL5 “FDN” se observó un menor contenido de MS atribuible a un forraje cosechado en edad inmadura, dando como resultado un menor rendimiento de MS, almidón y concentraciones energéticas (Allen et al., 2003; Arriola et al. 2012; Lynch et al., 2013) los valores FDN disminuyen con el avance de la madurez (Souza et al., 2011). Se puede atribuir a híbridos tardíos o tropicales que tienden a producir un mayor contenido de FDN y baja DFDN (Peña et al., 2002) y su periodo de llenado de grano es más lento, esto va relacionado a altas temperaturas, que aumentan la MS a tejidos más lignificados, y generan un rápido llenado de la mazorca con menor rendimiento de grano, en una baja concentración de almidón, por la afectación de la enzima almidón-sintetasa que controla la síntesis de almidón (Bernardes et al., 2018). La selección de híbridos de ciclo tardío indica que la selección de más dureza del tallo en maíz se utiliza para incrementar la resistencia a plagas y al acame, y

da lugar a un mayor contenido de FDN, FDA y lignina (Núñez et al., 2001). La mayor concentración de FDN reduce la densidad de energía (Mcal/kg/MS) (Bal et al., 1997), con un contenido de FDN >55.00% con una correlación negativa con la ingesta y la DFDN (Henrique et al., 2008); una mayor concentración de humedad está relacionado negativamente con el CMS (Allen et al., 2003).

En el CL6 “Proteína Cruda”, podemos encontrar un alto contenido de PC, lo cual puede atribuirse a la utilización de amoníaco anhidro o urea como aditivo (Yitbarek y Tamir, 2014), estas adiciones generan un mayor contenido de PC, hasta un incremento de 9.50% (Damirel et al., 2003). Según Allen et al. (2003) el tratamiento con urea varia de 6.40% a 16.00%, mientras que la aplicación de amoníaco anhidro aumenta la PC de aproximadamente de 8.00% a 12.50% g/100 g MS⁻¹ (Yitbarek y Tamir, 2014). Para Rodríguez et al. (2014) la utilización de melaza deshidratada y minerales disminuyen el contenido de MO, como se observa en los resultados obtenidos de este CL. El aumento de MS corresponde a una disminución en el contenido de CNF de la planta, ya que el CNF sintetizado en la fase de floración y almacenado a nivel del tallo y las hojas se usan para sintetizar el almidón en los granos, lo que contribuye en su mayor parte al aumento de MS (Marchesini et al., 2019).

En la Tabla 6 la correlación de rendimiento de toneladas de MS está influenciado significativamente por la densidad de siembra. Una alta densidad de siembra, aumenta la producción de forraje (kg/MS/ha) (Guacapiña et al., 2018). Una mayor densidad de siembra en temporada corta, presenta plantas de maíz pequeñas; a medida que aumenta la densidad, la fecha de maduración y de corte pueden retrasarse, lo que contribuyendo a una baja en el contenido de EE y almidón y una concentración media de FDN (Guyader et al., 2018). Un mayor rendimiento de MS, con una gran población de plantas, genera una mayor producción de leche, por el aumento en el CMS (Ballard et al., 2001)

En cuanto a la correlación de MS, su concentración aumenta en toda la planta por efecto de la madurez, afectando el contenido de almidón y DFDN (Arriola et al., 2012); las concentraciones de FDN y DNDF de toda la planta fue influenciada por las etapas de madurez; el contenido de FDN de toda la planta se redujo con el avance de madurez (Souza et al., 2011), presentando que el contenido de MS (>35.00%) causa principalmente una disminución en la DFDN, mientras que en una etapa muy temprana de cosecha de MS

(<25.00%) se presenta una relación disminución de almidón y DFDN (Khan et al., 2014). Las correlaciones de FDN, indican que un mayor contenido de FDN comúnmente se produce con un ensilado con una madurez muy temprana (<25.00% de MS), dando como resultado un menor contenido de almidón (Khan et al., 2014) y al ensilar el material con más humedad, generará una baja concentración de CFN resultado de una filtración en el silo generando una disminución en la DFDN (Guyader et al., 2018); este alimento ensilado tendrá una baja concentración de TND, Mcal/kg/MS y menor CMS, dando como resultado menores rendimientos de leche (Khan et al., 2014)

La FDN está correlacionado negativamente con la digestibilidad (Salama, 2019); la DFDN afecta el CMS y la producción de leche, esta digestibilidad tiene un impacto alto en la producción de leche; los forrajes con una DFDN alta tendrán mayores valores de TDN (Combs, 2015); este valor de TDN se correlacionó negativamente con FDN (Jayanegara et al., 2019). La estrategia para mejorar la digestibilidad del FDN en los ensilados a menudo se relacionan con una reducción en la lignina o la concentración de FDN no digerible (Grant y Ferraretto, 2018). El contenido de FDN se correlacionó negativamente con CNF (Jayanegara et al., 2019); un incremento en el contenido de CNF disminuye el contenido de FDN, por efecto de dilución (Género, 2015). La DFDN disminuyó notablemente con un contenido de MS creciente en los ensilados de maíz de "muy húmedo a seco"; sin embargo, en paralelo al contenido de FDN, la mayoría de esta disminución ocurrió cuando el MS cuando el contenido aumentó de "muy húmedo" a "húmedo" (Khan et al., 2014); Una alta DFDN de la planta entera se da cuando es cosechado por encima del 40% de MS, relacionado con efectos de una alta digestibilidad por parte del almidón (Guyader et al., 2018); estos cambios reflejan la transición del crecimiento vegetativo al reproductivo en las plantas (Arriola et al., 2012). Una alta DFDN, generará una alto CMS y de energía metabolizable (Vanegas y Cordero, 2019), los cuales tendrán altos valores de TDN (Combs, 2015). El coeficiente FDN con bajo TDN indica su menor contribución a la energía disponible para el ganado, esto puede estar relacionado con el efecto negativo de FDN, particularmente componente de lignocelulosa, sobre la degradación ruminal y la digestibilidad total del tracto (Jayanegara et al., 2019).

Para las correlaciones dadas por los CFN, Almidón, TND y Mcal/kg/MS, podemos decir que un alto contenido de CNF fermentables de ensilados de maíz de buena calidad estarán entre

27,00% y 32.00%, con alta proporción de grano (Vanegas y Cordero, 2019); esto es por el proceso de formación de almidón, ya sea que por fotosíntesis o en la reasignación de carbohidratos solubles en agua del tallo, contribuye en gran medida a la producción de MS almacenable de CNF y almidón (Khan et al., 2014); las concentraciones de estos componentes aumentaron linealmente con la madurez, reflejando la transición del crecimiento vegetativo al reproductivo en las plantas (Arriola et al., 2012). La producción alta producción de leche observada por maíces con alta DFDN relacionado principalmente con una alto CMS (Ferraretto y Shaver, 2015). El almidón es la principal fuente de energía en los ensilados de maíz y también una de las principales fuentes de energía fermentable del rumen (Khan et al., 2014); siendo el almidón el carbohidrato mayoritario de los CNF; su presencia en las raciones es cada vez más elevada dado su alto valor energético y su capacidad para estimular el crecimiento de la población microbiana (Garrido, 2014); los cuales tendrán altos valores de TDN (Combs, 2015) y por consiguiente una alta concentración de energía en Mcal/kg/MS.

V. BIBLIOGRAFÍA

- Alaniz, V. O. G. (2008). *Adición de residuo de la industria cervecera al ensilaje de maíz como alternativa de forraje para ganado* (Doctoral dissertation).
- Ali, W., Nadeem, M., Ashiq, W., Zaeem, M., Thomas, R., Kavanagh, V., & Cheema, M. (2019). Forage yield and quality indices of silage-corn following organic and inorganic phosphorus amendments in podzol soil under boreal climate. *Agronomy*, 9(9), 489.
- Allen, M. S., Coors, J. G., & Roth, G. W. (2003). Corn silage. *Silage science and technology*, 42, 547-608.
- Amodu, J. T., Akpensuen, T. T., Dung, D. D., Tanko, R. J., Musa, A., Abubakar, S. A., Hassan, M. R., Jegede, J. O. & Sani, I. (2014). Evaluation of maize accessions for nutrients composition, forage and silage yields. *Journal of Agricultural Science*, 6(4), 178-187. <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v6n4p178>
- Arcila, M. J. D. (2013). *Producción de silo de maíz en San Pedro de los Milagros para suplementación bovina* (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria Lasallista).
- Arriola, K. G., Kim, S. C., Huisden, C. M., & Adesogan, A. T. (2012). Stay-green ranking and maturity of corn hybrids: 1. Effects on dry matter yield, nutritional value, fermentation characteristics, and aerobic stability of silage hybrids in Florida. *Journal of Dairy Science*, 95(2), 964-974. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4524>
- Bal, M. A., Coors, J. G., y Shaver, R. D. (1997). Impact of the maturity of corn for use as silage in the diets of dairy cows on intake, digestion, and milk production. *Journal of Dairy Science* 80, 2497-2503.
- Ballard CS, Thomas ED, Tsang DS, Mandebvu P, Sniffen CJ, Endres MI, y Carter MP (2001). Effect of corn silage hybrid on dry matter yield, nutrient composition, in vitro digestion, intake by dairy heifers, and milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science* 84, 442-452.
- 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., & Cai, Y. (2018). Silage review: Unique

- challenges of silages made in hot and cold regions. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4001-4019. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13703>
- Berndt, S., Andrés, S., (2002). Composición nutricional y calidad de ensilajes de la zona sur (Doctoral dissertation, Tesis de Licenciatura, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile).
- Bertoia, L. M. (2010). Ensilaje de maíz: calidad técnica y biológica. *Revista Angus*, 250, 23-25.
- Bertoia, L. M. (2012). *Análisis de la interacción genotipo-ambiental de la aptitud forrajera en maíz (Zea mays L.)* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Bertoia, L. M. (2015). algunos conceptos sobre el cultivo de maíz para ensilaje. *Facultad deficiencias agrarias. Sitio argentino de Producción Animal*.
- Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R. J., Holmes, B. J., & Muck, R. E. (2018). Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3952-3979. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837>
- Boschini. F. C., & Amador, A. L. (2001). Degradabilidad ruminal de la planta de maíz forrajero en diferentes edades de crecimiento. *Agronomía mesoamericana*, 12(1), 89-93.
- Calsamiglia, S., & Ferret, A. (2002). Fisiología ruminal relacionada con la patología digestiva: acidosis y meteorismo. *XVIII Curso de Especialización. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA)*. Eds. CP Ga Rebollar, GG De Blas y Mateos. Madrid, España.
- Camarasa, J. N., Barletta, P. F., & Larrosa, F. (2019). Rendimiento de forraje y calidad nutricional con densidades bajas de maíz para ensilaje. *Revista de Tecnología Agropecuaria*, 10(40), 38-41. <https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/6104>
- Cañadas, Á., Molina, C., Rade, D., & Fernández, F. (2016). Interacción época/densidad de siembra sobre la producción de ocho híbridos de maíz forrajeros, Ecuador. *Revista MVZ Córdoba*, 21(1), 5112-5123. <https://link.gale.com/apps/doc/A487432999/AONE?u=anon~7a1f6315&sid=googleScholar&xid=c96ccc8e>

- Cardozo, V. J. V. (2013). El matarratón (*Gliricidia sepium*) en la alimentación de rumiantes. [Tesis de especialización en nutrición animal sostenible, Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente, Bogotá D.C., Colombia]. Repository <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/1076>
- Catalá, L. F., Tobías, A., Cameron, C., Moher, D., & Hutton, B. (2014). Network meta-analysis for comparing treatment effects of multiple interventions: an introduction. *Rheumatology International*, *34*(11), 1489-1496.
- Chaudhary, D. P., Jat, S. L., Kumar, R., Kumar, A., & Kumar, B. (2014). Fodder quality of maize: Its preservation. In P. Chaudhary, S. Kumar & S. Langyan (Eds.), *Maize: Nutrition dynamics and novel uses* (pp. 153-160). <https://doi.org/10.1007/978-81-322-1623-0>
- Church, D. C., Pond, W. G. (1990). Fundamentos de nutrición y alimentación de animales. 2da ed. p 51-60. Ed. Limusa. México.
- Combs, D. (2015). Forage quality and utilization: total tract NDF digestibility. University of California Alfalfa & Forages. [https://alfalfa.ucdavis.edu/+symposium/2015/PDFfiles/Combs Dave.pdf](https://alfalfa.ucdavis.edu/+symposium/2015/PDFfiles/Combs+Dave.pdf)
- Cozzolino, D., & Fassio, A. (1995). Ensilaje de maíz: cultivares y calidad. *Montevideo, INIA*.
- Cuy, F. D. C. (2015). Fortalecimiento del programa de nutrición ganadera de la secretaría de desarrollo agropecuario de Duitama mediante la implementación de silo de maíz forrajero (*zea mays*) para pequeños y medianos productores.
- Dávila Camacho, G. M. (2016). Evaluación agronómica de tres híbridos de maíz (*Zea mays* L) en lotes comerciales en la zona de Mata de Cacao, provincia de Los Ríos. *Trabajos de Titulación - Carrera de Ingeniería Agropecuaria*, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- De León M, Bulashevich MC, Boetto C, González PC, Peuser R, y Cabanillas A (2011). Efecto del genotipo de maíz sobre la desaparición ruminal de materia seca en silajes de planta entera. In XV Congreso Bienal México, AMENA.

- Demirel, M., Yilmaz, İ., Deniz, S., Kaplan, O., & Akdeniz, H. (2003). Effect of addition of urea or urea plus molasses to different corn silages harvested at dough stage on silage quality and digestible dry matter yield. *Journal of Applied Animal Research*, 24(1), 7-16. <https://doi.org/10.1080/09712119.2003.9706429>
- Depetris, G. J. (2013). Valor nutricional del grano y ensilaje de maíz en la alimentación de bovinos para carne. Universidad Nacional de La Plata. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/47597>
- Der Bedrosian, M. C., Nestor, K. E., & Kung, L. (2012). The effects of hybrid, maturity, and length of storage on the composition and nutritive value of corn silage. *Journal of Dairy Science*, 95(9), 5115-5126. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4833>
- Domínguez, M. A., Ronquillo, M. G., Cedeño, S. G., Vara, I. A. D., & González, C. A. (2009). Rendimiento y producción de gas in vitro de maíces híbridos conservados por ensilaje o henificado. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 47(4), 413-423. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/613/61312114004.pdf>
- Elghandour, M. M. M. Y., Kholif, A. E., Marquez-Molina, O., Vazquez-Armijo, J. F., Puniya, A. K., & Salem, A. Z. M. (2015). Influence of individual or mixed cellulase and xylanase mixture on in vitro rumen gas production kinetics of total mixed rations with different maize silage and concentrate ratios. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 39(4), 435-442.
- Enriquez Ticona, E. (2018). Evaluacion de la calidad nutricional del ensilado de maiz amilaceo (zea mays l. Ssp amiláceo) post cosecha en la cuenca lechera de Abancay.
- Fassio, A., Ibañez, W., Fernández, E., Cozzolino, D., Pérez, O., Restaino, E., Pascal, A., Rabaza, C., & Vergara, G. (2018). El cultivo de maíz para la producción de forraje y grano y la influencia del agua. *Serie técnica*, (239).
- Fernández, M. A. (2014). Impacto de los silajes de planta entera (maíz o sorgo) en los sistemas de engorde intensivo (pastoril ya corral). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_pastoril_o_a_campo/33-impacto_silajes.pdf

- Ferraretto, L. F., & Shaver, R. D. (2012a). Effect of corn shredlage on lactation performance and total tract starch digestibility by dairy cows. *The Professional Animal Scientist*, 28(6), 639-647. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30423-X](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30423-X)
- Ferraretto, L. F., & Shaver, R. D. (2012b). Meta-analysis: Effect of corn silage harvest practices on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *The Professional Animal Scientist*, 28(2), 141-149. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30334-X](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30334-X)
- Ferraretto, L. F., & Shaver, R. D. (2015). Effects of whole-plant corn silage hybrid type on intake, digestion, ruminal fermentation, and lactation performance by dairy cows through a meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 98(4), 2662-2675. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9045x>
- Ferraretto, L. F., Shaver, R. D., & Luck, B. D. (2018). Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 3937-3951. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13728>
- Ferraretto, L. F., Shaver, R. D., Massie, S., Singo, R., Taysom, D. M., & Brouillette, J. P. (2015). Effect of ensiling time and hybrid type on fermentation profile, nitrogen fractions, and ruminal in vitro starch and neutral detergent fiber digestibility in whole-plant corn silage. *The Professional Animal Scientist*, 31(2), 146-152. <https://doi.org/10.15232/pas.2014-01371>
- Filya, I. (2003). The effect of *Lactobacillus buchneri* and *Lactobacillus plantarum* on the fermentation, aerobic stability, and ruminal degradability of low dry matter corn and sorghum silages. *Journal of dairy science*, 86(11), 3575-3581.
- Fuentes, J., Cruz, A., Castro, L., Gloria, G., Rodríguez, S., & de la Rosa, B. O. (2001). Evaluación de variedades e híbridos de maíz (*Zea mays*) para ensilado. *Agronomy Mesoamerican*, 193-197.
- Gallardo, M. (2006). Dietas balanceadas con forrajes conservados: la importancia de diagnosticar la calidad nutricional. Forrajes conservados en general. E.E.A. INTA Rafaela.

- García, S. L. E. (2012). *Distribución vertical del rendimiento y la calidad forrajera en el componente vegetativo de la planta de maíz (Zea mays L.)* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).
- Garrido, A. G. (2014). Los carbohidratos en la alimentación de la vaca de leche. *Frisona Española*, 34(200), 106-109. <http://www.iberliquididos.es/assets/los-carbohidratos-en-la-alimentacion-de-la-vaca-de-leche.pdf>
- Genero, G. A. (2015). Efecto del ensilaje de maíz nervadura marrón sobre la respuesta productiva de vacas lecheras en estabulación y parámetros de fermentación in vitro [Tesis para obtener el grado de Magister en producción animal, Universidad del Mar del Plata, Balcarce, Argentina]. Repository http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/rdata/tespo/0_genefe000.pdf
- González CF, Núñez HG, Peña RA (2006). Etapas de corte, producción y calidad forrajera de híbridos de maíz de diferente ciclo biológico. *Revista Fitotecnia Mexicana* 29, 103-107.
- Grant, R. J., & Ferraretto, L. F. (2018). Silage review: Silage feeding management: Silage characteristics and dairy cow feeding behavior. *Journal of Dairy Science*, 101(5), 4111-4121. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13729>
- Guacapiña A, Rodríguez LF, Godoy A (2018). Evaluación de la variedad de maíz (Zea mays L.) INIAP-180, para la elaboración de ensilaje. In *Congreso Internacional. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, Quito, Ecuador. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Guerrero, J. E. L., Rojas, A. F. V., Cortés, M. M. A., & Fernández, L. F. C. (2018). Panorama general de los organismos genéticamente modificados en Colombia y en el mundo: Capacidad nacional de detección. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(2), 101-116. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v20n2.77080>
- Guyader, J., Baron, V., & Beauchemin, K. (2018). Corn forage yield and quality for silage in short growing season areas of the Canadian prairies. *Agronomy*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/agronomy8090164>

- Henrique, V. H., Vilela, R. A., Paulo, F. V., Augusto, A., Gustavo, R. E. A., & Benedito, S. A. G. (2008). Valor nutritivo de silagens de milho colhido em diversos estádios de maturação. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37(7), 1192-1199. https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1516-35982008000700008&script=sci_arttext
- Hernández, G. N., Contreras, R. F., Castañeda, F. G., & Ramos, A. P. (2005). Madurez de híbridos de maíz a la cosecha para mejorar la producción y calidad del forraje. *Técnica Pecuaria en México*, 43(1), 69-78.
- Hoffman, P., Combs, D., Contreras, G. F. E., & Neutro, D. (2004). Uso de la digestibilidad del FDN en la formulación de raciones. *Focus Forage*, 6, 1-5. <https://fyi.extension.wisc.edu/forage/files/2014/01/NDFDRationesp-FOF1.pdf>
- Jayanegara, A., Ridla, M., & Laconi, E. (2019). Estimation and validation of total digestible nutrient values of forage and concentrate feedstuffs. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/546/4/042016>
- Jiménez, L. D., Romo, R. J., Flores, A. L., Ortiz, L. B., & Barajas, C.R. (2016). Edad de corte en la composición química del ensilado de maíz blanco asgrow-7573. *Abanico Veterinario*, 6(3), 13-23. <https://doi.org/10.21929/abavet2016.63.1>
- Khan, N. A., Yu, P., Ali, M., Cone, J. W., & Hendriks, W. H. (2015). Nutritive value of maize silage in relation to dairy cow performance and milk quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(2), 238-252. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6703>
- Kolver, E. S., Roche, J. R., Miller, D., & Densley, R. (2001, January). Maize silage for dairy cows. In *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* (pp. 195-201).
- Letelier, L. M., Manríquez, J. J., & Rada, G. (2005). Revisiones sistemáticas y metaanálisis: ¿son la mejor evidencia?. *Revista médica de Chile*, 133(2), 246-249.
- Luna, O. J. G., García, H. J. L., Preciado, R. P., Fortis, H. M., Espinoza, B. A., Gallegos, R. M. A., & Chavarría, G. J. A. (2013). Evaluation of hybrids from simple crosses using maize elite landraces with forage outstanding characteristics for a Mexican arid land. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16(1), 119-126.

- Lynch, J. P., O’Kiely, P., & Doyle, E. M. (2012). Yield, quality and ensilage characteristics of whole-crop maize and of the cob and stover components: harvest date and hybrid effects. *Grass and Forage Science*, 67(4), 472-487. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2012.00868.x>
- Marchesini, G., Serva, L., Chinello, M., Gazziero, M., Tenti, S., Mirisola, M., Garbin, E., Contiero, B., Grandis, D., & Andrighetto, I. (2019). Effect of maturity stage at harvest on the ensilability of maize hybrids in the early and late FAO classes, grown in areas differing in yield potential. *Grass and Forage Science*, 74(3), 415-426.
- Martínez, T., & Daniela, A. (2017). Evaluación nutricional del ensilaje de maíz cosechado en cuatro etapas fenológicas elaborado con tres calibres de picado [Tesis de licenciatura, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras]. Repository <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6111/1/CPA-2017-066.pdf>
- Mier, M. (2009). Caracterización del valor nutritivo y estabilidad aeróbica de ensilados en forma de microsilos para maíz forrajero. *Trabajo de fin de master para optar el Grado de Master en Zootecnia y Gestión sostenible*. Departamento de Producción Animal Universidad de Córdoba, Argentina.
- National Research Council (NRC, I) (1978). Nutrient requirements of dairy cattle. National Academy Science, Washington, DC., U.S.A
- National Research Council (NRC, I) (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. National Academy Science, Washington, DC., U.S.A.
- National Research Council (NRC, I). (1989). Nutrient requirements of dairy cattle. National Academy Science, Washington, DC., U.S.A.
- Nestor, K. (2010). Silage quality: how is it defined and measured?. University of California Alfalfa & Forages. <https://alfalfa.ucdavis.edu/+symposium/proceedings/2010/10-139.pdf>
- Nkosi, B. A., Langa, T. A., Thomas, R. A., & Meeske, R. (2011). Effects of bacterial silage inoculants on whole-crop maize silage fermentation and silage digestibility in rams. *South African Journal of Animal Science*, 41(4), 350-359.

- Nuñez, H. G., Faz, C. R., Tovar, G. M. R., & Zavala, G. A. (2001). Híbridos de maíz para la producción de forraje con alta digestibilidad en el norte de México. *Técnica Pecuaria en México*, 39(2), 77-88. <https://www.redalyc.org/pdf/613/61339203.pdf>
- Ozduven, M. L. (2010). The effects of bacterial inoculants and/or enzymes on the fermentation, aerobic stability and *in vitro* dry and organic matter digestibility characteristics of triticale silages. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 16(5).
- Peña, R. A., Nuñez, H. G., & González, C. F. (2002). Potencial forrajero de poblaciones de maíz y relación entre atributos agronómicos con la calidad. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 40(3), 215-228. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1300>
- Peña, R.A., González, C. F., Robles, E. F. J., (2010). Manejo agronómico para incrementar el rendimiento de grano y forraje en híbridos tardíos de maíz. *Rev. Mex. Cienc. Agric.* 1(1):27-35.
- Reta, S. D. G., Gaytán, M. A., Carrillo, A. J. S. (2000). Respuesta del maíz para ensilaje a métodos de siembra y densidades de población. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 23(1), 37-47.
- Roblero, L. J. J. (2006). Evaluación comparación nutricional y energética de cuatro Genotipos de maíz en forma natural y ensilado. Tesis para obtener el Grado de Ingeniero Agronomo Zootecnista, UAAAN, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
- Rodríguez, C. S., López, H. M., WingChing, J. R., & Rojas, B. A. (2014). Adición de melaza deshidratada y urea en ensilados de rastrojos de piña. *Agronomía Mesoamericana*, 25(2), 312-321. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212014000200009
- Rodríguez, J. & Valdiviezo, E. (2013). Comportamiento agronómico de cinco híbridos de maíz (*Zea mays* L.) en estado de choclo cultivados a dos distancias de siembra. *Previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo*. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Gayaquil. Guayaquil, Ecuador.
- Romero, L.A. (2004). Silaje de Maíz, Calidad de Forrajes Conservados. INTA (31-33)

- Roth, G. W., & Heinrichs, A. J. (2001). Corn silage production and management. *Agronomy facts*, 18, 7-13.
- Row, C. A. (2015). Corn plant maturity effect on yield and nutritional quality; corn silage inoculation on performance of cattle fed silage with or without live yeast added [Theses and Dissertations in Animal Science, Presented to the Faculty of The Graduate College at the University of Nebraska]. Repository <https://digitalcommons.unl.edu/animalscidiss/110/>
- Salama, H. S. A. (2019). Yield and nutritive value of maize (*Zea mays* L.) forage as affected by plant density, sowing date and age at harvest. *Italian Journal of Agronomy*, 14(2), 114-122. <https://doi.org/10.4081/ija.2019.1383>
- Sánchez, H. M. Á., Cruz, V. M., Sánchez, H.C., Morales, T. G., Rivas, J. M. A., & Villanueva, V. C. (2019). Rendimiento forrajero de maíces adaptados al trópico húmedo de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(3), 699-712.
- Sánchez, L.W., & Hidalgo, A. C. (2018). Potencial forraje de nueve híbridos de maíz en la zona alta lechera de Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 29(1), 163-174.
- Santana, R. F., Granillo, M. R., Espinoza, S. F. I., Aguilar, O. J. C., & Ortega, Z. J. G. (2018). Caracterización de la cadena de valor del maíz. *Ingenio y Conciencia. Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 5(9). <https://doi.org/10.29057/ess.v5i9.2899>
- Satter, L. D., & Reis, R. B. (2012). Milk production under confinement conditions. US Dairy Forage Research Center, USDA-ARS and Dairy Science Department. University of Wisconsin, Madison, Wisconsin, USA.
- Souza, F. A. X., Von Pinho, R. G., Resende, P. J. L. A., Costa dos Reis, M., Vilela R. A., & Diego, C.M. (2011). Influence of stage of maturity on bromatological quality of corn forage. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(9), 1894-1901. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000900008>
- Staples, C. R. (2003). Corn silage for dairy cows. DS 21. Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. 7p.

- Thomas, E. D., Mandebvu, P., Ballard, C. S., Sniffen, C. J., Carter, M. P., & Beck, J. (2001). Comparison of corn silage hybrids for yield, nutrient composition, in vitro digestibility, and milk yield by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 84(10), 2217-2226.
- Vanegas, R. J. L., y Codero, A. O. V. (2019). Ensilaje como fuente alterna de alimentación del ganado de bovino en la producción lechera. *Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal* 3, 129-162.
- Wang, Y., McAllister, T. A., Rode, L. M., Beauchemin, K. A., Morgavi, D. P., Nsereko, V. L., Iwassa, A. D., & Yang, W. (2001). Effects of an exogenous enzyme preparation on microbial protein synthesis, enzyme activity and attachment to feed in the Rumen Simulation Technique (Rusitec). *British Journal of Nutrition*, 85(3), 325-332.
- Weiss, W., & Wyatt, D. (2000). Effect of oil content and kernel processing of corn silage on digestibility and milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 83(2), 351-358. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)74886-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)74886-7)
- Yitbarek, M., & Tamir, B. (2014). Silage Additives: Review. *Open Journal of Applied Sciences*, 4(5), 258-274. <https://doi:10.4236/ojapps.2014.45026>
- Zannier, S. (2012). Caracterización del valor nutritivo de los silajes de maíz de la llanura pampeana y la mesopotamia argentinas. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. Disponible en: <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/457>