

Universidad Nacional de Lomas de Zamora
Facultad de Ciencias Agrarias



Trabajo Final de Grado - Ingeniero Agrónomo

**“El momento de cosecha como condicionante de la calidad del
silaje de maíz (Zea mays L.)”**

Autor: Emiliano Gabriel Benemérito.

Director: Ing. Agr, M.Sc., Dr. Luis Máximo Bertoia.

Año 2024.

Trabajo Final de Grado para optar por el título de Ing. Agrónomo.

Título del proyecto:

El momento de cosecha como condicionante de la calidad del silaje de maíz (Zea mays L.)

Director de trabajo final de grado:

Ing. Agr. MSc. Dr. Luis Máximo Bertoia.

Facultad de Ciencias Agrarias.

Universidad Nacional de Lomas de Zamora.

Índice

ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS	4
ÍNDICE DE GRAFICOS	4
AGRADECIMIENTOS	5
RESUMEN	6
INTRODUCCIÓN	7
SILAJE DE MAÍZ EN ARGENTINA	7
EN QUÉ CONSISTE EL SILAJE DE MAÍZ	9
CONSERVACIÓN DEL FORRAJE EN EL SILO	9
FASES DEL PROCESO FERMENTATIVO	10
COMPACTACIÓN	11
DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE MAÍZ	11
PARTE DE GRANO	12
HIDRATOS DE CARBONO SOLUBLE	13
PARED CELULAR, FDN Y FDA	14
MOMENTO DE PICADO	14
OBJETIVOS	17
HIPÓTESIS	17
MATERIAS Y MÉTODOS	17
CONDICIONES CLIMÁTICAS	21
TEMPERATURA Y PRECIPITACIONES	21
CONDICIONES EDÁFICAS	23
METODOLOGÍA DE COSECHA	23
DETERMINACIÓN DE MATERIA SECA Y CALIDAD NUTRICIONAL PRE Y POST ENSILAJE	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
BIBLIOGRAFÍA	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fuente NC State University, adaptado de Collins y Owens, 2003.	10
Figura 2. Área de ensayo.	18
Figura 3. Distancia desde la ruta 205.	19
Figura 4. Coordenadas y ubicación geográfica del lote.	19
Figura 5. Fotografía del ensayo en el mes de enero del 2023.	24
Figura 6. Fotografía de la estufa empleada para el secado de las muestras como así la picadora usada para moler las muestras.	25
Figura 7. Espectrofotómetro de Infrarrojo Cercano (NIRS).	26
Figura 8. Analizador ANKON.	26
Figura 9. Foto del medidor de pH digital empleado para analizar los microsilos, junto a una foto de uno de los microsilos.	27
Figura 10. Se aprecia la secuencia de medición de pH de distintas muestras.	28
Figura 11. Variación de la medición del pH de las muestras durante el análisis.	28
Figura 12. Balanza micro analítica empleada para tomar las mediciones junto a una muestra de microsilos antes de enviar a estufa.	29
Figura 13. Muestras de microsilos secándose en la estufa.	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Análisis de suelo.	20
Tabla II. Precipitaciones durante el ciclo del cultivo en mm mensuales acumulados.	22

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Precipitaciones acumuladas en cada mes a partir desde abril del 2022 hasta marzo del 2023.	23
Gráfico 2. Respuesta de las variables Digestibilidad (% Dig) en función del contenido de Materia seca (% MS), pre y post ensilaje.	30
Gráfico 3. Respuesta de la concentración de pH en función del contenido de Materia seca (% MS), post ensilaje.	32
Gráfico 4. Respuesta de la concentración de pH en función del contenido de Materia seca (% MS), post ensilaje.	35

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está dedicado a todas aquellas personas que creyeron en mí aun cuando yo no lo hice. Gracias por sostenerme emocionalmente y acompañarme en el camino durante tanto tiempo.

Estaré eternamente agradecido a mi familia, que me apoyó y supo aceptar cada decisión tomada. A mi padre Ricardo, quien fue mi ejemplo a seguir aun en los momentos difíciles, y a mi madre Sara, motor clave para que yo haya podido cumplir mis sueños.

Quiero destacar el acompañamiento afectivo y emocional de mis hermanas Irene y Sabrina, y mis hermanos Matías, Nicolás y Agustín. Sin ellos, tampoco habría podido lograrlo. También quiero agradecer a mis sobrinos por el amor incondicional que me han brindado y que me ha dado la fuerza necesaria para seguir adelante día a día.

Agradezco a los docentes y no docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias, quienes me acompañaron, guiaron y comprendieron durante mucho tiempo, dando lo mejor de sí para que hoy sea el ingeniero en que me he convertido.

También quiero agradecer a mis amigos y compañeros de la facultad, que me motivaron durante todo este tiempo y fueron ejemplos de superación. A ellos, les doy las gracias.

Quiero agradecer a los docentes Mónica, María Silvia, Marcelo, Ezequiel y Roberto por permitirme formar parte de su equipo de trabajo, por acompañarme y brindarme todo su conocimiento.

Por último, y no menos importante, quiero agradecer especialmente a mi director Luis Bertoia, por abrirme las puertas de la Cátedra de Cerealicultura para que yo pudiera crecer y formarme profesionalmente. Gracias por ser mi director, por brindarme todo su conocimiento y, sobre todo, por enseñarme que todo lo que se haga en la vida debe hacerse con pasión, dedicación y compromiso.

A cada una de aquellas personas, simplemente ¡Gracias!

RESUMEN

La producción de forrajes conservados requiere elevados conocimientos técnicos para generar reservas de calidad. Es necesario evaluar la variabilidad que se produce en el rendimiento y la calidad del forraje por efecto del momento de cosecha, y así optimizar el período ideal para lograr un cultivo con mayor rendimiento de materia seca digestible. El objetivo fue determinar cómo influye la variación en la calidad producida en el silaje de maíz ("*Zea mays* L.") con los diferentes momentos de cosecha, y tratar de aunar el mayor rendimiento por hectárea compatible con la máxima calidad del forraje, y con la aptitud para la conservación.

Se evaluaron diferentes momentos de cosecha en un híbrido de maíz, comenzando con el cultivo con un alto contenido de humedad y culminando al alcanzar un elevado porcentaje de materia seca. Se estimó el contenido de materia seca del material pre y post-ensilaje. Se utilizaron microsilos que fueron sometidos a presión constante empleando un presurómetro digital. Luego de la apertura de los microsilos se determinaron en laboratorio las pérdidas potenciales de materia seca y con variables de calidad. Se evaluaron los resultados mediante análisis de regresión de las variables de calidad nutricional. Las conclusiones se divulgaron al sistema productor agrícola-ganadero.

Palabras claves: *Zea mayz*, silaje, materia seca, calidad, digestibilidad.

INTRODUCCIÓN

SILAJE DE MAÍZ EN ARGENTINA

El cultivo de maíz con destino para ensilaje se incrementó a lo largo de los últimos años de manera constante. Si comparamos el año 2022 respecto al año 2023, la superficie cosechada se incrementó de 1.382.329 ha a 1.696.069 ha (CACF, 2023). Los motivos que destacan el aumento en la superficie cosechada para confección de silaje son los elevados rendimientos de materia seca (MS) que se obtienen por ha y la posibilidad de emplear este alimento en otros momentos de menor producción de forraje (Género, 2015).

En la actualidad, el silaje de maíz se destaca en los sistemas productivos modernos por las ventajas competitivas que brinda, siendo ellas:

- Elevados rendimientos por hectárea con alto valor energético.
- Palatabilidad y consistencia adecuada.
- Facilidad de cosecha, lo que agiliza que se haga en el menor tiempo posible.
- Permite reducir los costos de producción.
- El porcentaje de pérdidas puede ser bajo, si se trabaja de forma correcta (Ramírez y Cattani *et al.*, 1999).

Los sistemas productivos animales, expuestos a variaciones o inclemencias climáticas, serían inviables de realizar sin el abastecimiento de forrajes conservados de alta calidad. Por lo que el forraje conservado se convierte en una herramienta indispensable que permite a los productores la toma de decisiones estratégicas respecto a su sistema productivo, ya sea de carne, leche o mixto (agricultura más ganadería intensiva) (Bragachini *et al.*, 2008).

En la lechería actual, el silaje de maíz juega un rol crucial, ya que el 83% de los tambos acuden a este recurso. Al incrementarse la producción de leche, demanda consigo una mayor producción de silaje para sostener altos niveles de producción (Bertoia, 2015).

El aumento en el poder adquisitivo en la población, conlleva a un aumento en el consumo de carne y con ello un aumento en el uso de maíz como fuente energética para sostener la producción animal (Andrade *et al.*, 2023). Sostener la demanda de proteínas de

origen animal para una población que aumenta a nivel mundial, requiere emplear alimentos de calidad y en cantidad. Nuestro país está en condiciones de incrementar la producción animal con el objeto de abastecer la demanda interna generando un volumen muy importante de productos de origen animal destinados a la exportación. Para ello, se deben incrementar las investigaciones destinadas a aumentar la producción animal mediante la optimización de los rendimientos y la calidad de los forrajes. Distintas investigaciones se enfocaron en evaluar diversas variables que afectan la calidad del forraje conservado, tales como: la fecha y densidad de siembra, la dosis y el momento de fertilización, el material genético empleado, distintas alturas de corte, tamaño del picado, grado de compactación y aislación del material ensilado, procesos relacionados con la fermentación, y el empleo de inoculantes bacterianos. Uno de los estudios que más relevancia ha tenido por su grado de influencia en la calidad y conservación del silaje, fue la determinación del momento de corte del material a ensilar, ya que es el factor que más influye sobre el volumen de biomasa cosechada y la calidad del material (Zannier, 2012).

De acuerdo con Demanet *et al.* (2018) una decisión de manejo crucial en el silaje de maíz es el momento de la cosecha. Este debe situarse entre el 30 % y el 35 % de materia seca (M.S.) con un tamaño de picado adecuado, el uso de aditivos biológicos y un tiempo de espera apropiado entre el sellado y la apertura; todos factores relevantes para el desarrollo de este cultivo. Si bien las últimas tendencias marcan un límite superior de 45% de M.S. (Bertoia, comunicación personal).

Lograr un buen rendimiento compatible con una buena calidad nutricional es de vital importancia debido al elevado costo de cosecha (picado) de un maíz, el cual varía según rendimiento, mucho mayor que un lote destinado a grano (Bertoia, 2015).

En lo que concierne en la determinación del momento de picado en silaje de maíz, la información disponible es muy escasa y está influenciada por la diversidad de criterios que tienen tanto los organismos públicos como las empresas privadas (Bertoia, 2015). Por lo cual, se hace indispensable entender cómo varía la calidad del silaje de maíz en distintos momentos de cosecha, tanto antes de ser sometido al proceso fermentativo de silaje (al momento de picado) como posterior al proceso fermentativo y apertura del silo (post-ensilaje).

EN QUÉ CONSISTE EL SILAJE DE MAÍZ

El ensilaje de maíz es una técnica de conservación de forraje verde, basada en procesos químicos y biológicos, que se generan a expensas de hidratos de carbonos fermentables presentes en los tejidos vegetales cuando se encuentran en un medio adecuado de anaerobiosis.

La conservación del material ensilado se realiza en un medio húmedo, en la cual los ácidos formados por los procesos fermentativos conservan el forraje permitiendo obtener un alimento succulento y de gran valor nutritivo, muy similar al forraje original (Bertoia, 2015). Como el objetivo es conservar el valor nutricional del forraje a través de procesos fermentativos estos deberán darse en condiciones óptimas, buscando lograr un material ensilado cuya calidad post ensilada sea apenas inferior al material pre ensilado (planta verde). Cabe mencionar que no existe ningún tipo de conservación que mejore la calidad del forraje verde original, por lo que el éxito del ensilado depende de garantizar adecuadas condiciones de acidez, buscando estabilizar y preservar un estado de anaerobiosis dentro del ensilado (Caffaratti *et al.*, 2008).

CONSERVACIÓN DEL FORRAJE EN EL SILO

Una vez cosechado el forraje, los microorganismos aeróbicos se incrementan en el material picado durante los primeros estadíos del proceso de conservación. Estos microorganismos generan un aumento en la temperatura interior del silo por medio de la respiración. Esto hace que sea imprescindible eliminar la mayor cantidad de aire durante el momento de llenado y compactado, buscando lograr una buena conservación del material a ensilar. A medida que el oxígeno se consume, los microorganismos anaeróbicos se ven favorecidos, permitiendo su multiplicación y por medio de procesos metabólicos producen ácido acético, responsable de la disminución inicial del pH y el incremento de la acidez del silo. A su vez, las bacterias formadoras de ácido láctico se ven favorecidas, las cuales son las responsables de bajar el pH del silo lo suficiente (pH 3,5 a 4), generando un medio fuertemente ácido que inhibe el desarrollo de microorganismos indeseables (Bragachini *et al.*, 2008).

FASES DEL PROCESO FERMENTATIVO

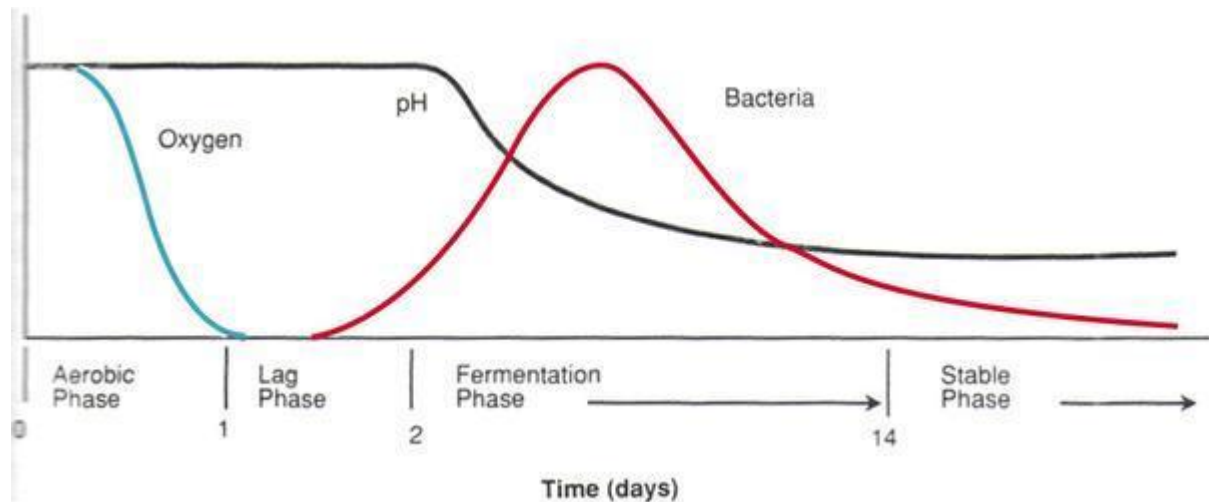


Figura 1. Fuente NC State University, adaptado de Collins y Owens, 2003.

Fase 1 o fase aeróbica: esta fase comienza con el picado del forraje y culmina cuando el oxígeno es eliminado del silo, siendo su duración de pocas horas. En esta fase, los azúcares de la planta recién picada por medio de la respiración se descomponen en CO_2 , H_2O y energía liberada en forma de calor (Bragachini *et al.*, 2008).

Fase 2 o fase anaeróbica: cuando el oxígeno es consumido en el silo, comienza la fase anaeróbica donde las bacterias fermentan los azúcares que serán convertidos principalmente en ácido láctico, pero también en ácido acético, etanol, dióxido de carbono y algunos otros productos. La fermentación anaeróbica, promoverá en un principio el crecimiento y desarrollo de las bacterias productoras de ácido acético, culminado esta fase cuando el pH llegue a 5 (Bragachini *et al.*, 2008).

Fase 3 o estable: una vez que el pH comienza a descender por debajo de 5, se da una transición entre las bacterias acéticas y lácticas. Al tiempo en que el pH desciende, la producción de ácido acético es reemplazado en gran medida por la producción de ácido láctico. A medida que avanza la fermentación, el contenido de azúcares disminuye, por lo cual el descenso de pH se detiene cuando este sustrato se agota y si el contenido de ácido no es el suficiente la estabilidad del silo se verá comprometida (Bragachini *et al.*, 2008).

Fase 4 o de deterioro aeróbico: en esta fase final el silaje se estabiliza y el pH se reduce a un valor que impide el desarrollo de otros microorganismos. Es la fase de mayor duración ya que continúa hasta que el pH del forraje es lo suficientemente bajo como para inhibir el crecimiento de todas las bacterias, llegando al punto de conservación y estabilización.

Una vez que se da la apertura del silo se genera una exposición al aire el cual genera la degradación de ácidos orgánicos a causa de levaduras y distintos microorganismos aeróbicos, generando un aumento del pH y un aumento de la temperatura favoreciendo la proliferación de distintos microorganismos que deterioran la calidad del silaje (Bragachini *et al.*, 2008).

COMPACTACIÓN

Para una buena conservación del material forrajero se recomienda: un llenado rápido de la bolsa, un correcto tamaño de picado, distribución uniforme del material y cosechar un porcentaje óptimo de materia seca, permitiendo reducir así la porosidad en el ensilaje (Kung and Muck, 2017).

Por lo que una alta densidad de compactación permitirá almacenar una mayor cantidad de forraje (kg de MS) por la misma unidad de volumen (m^3) además se reducirá la porosidad, disminuyendo pérdidas por degradación oxidativa y preservando el valor nutritivo inicial del forraje (Caffaratti, 2016). Por lo que la obtención de una alta densidad de ensilaje es más que imprescindible para que los procesos fermentativos se lleven a cabo correctamente. En cambio, una baja densidad del material ensilado generará un material más poroso, que lo vuelve susceptible al deterioro, tanto durante la fase de almacenamiento como la de extracción y suministro debido a la fácil penetración del oxígeno (Guidi, 2020).

DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE MAÍZ

La estructura de la planta de maíz influirá notablemente en la composición química del ensilaje. Los carbohidratos que la planta sintetiza se translocan hacia los granos en el cual se almacenan en forma de almidón. Estos granos de maíz, comprenden la mayoría de las veces entre el 30 y el 52 % respecto del total de la biomasa de la planta, considerando que el almidón constituye entre el 70 y el 75 % del peso seco del grano. Esto permite apreciar que el grano de

maíz tiene un fuerte impacto en la calidad nutricional del ensilaje de maíz, siendo el principal aporte energético del mismo (Santos *et al.*, 2016).

Considerando el aspecto nutricional del ensilaje de maíz, ya sea para vacas lecheras o de carne, el valor del mismo depende principalmente de su concentración energética y no así de su aporte de proteína bruta. El ensilaje de maíz en comparación con otros ensilajes, como el de alfalfa, contiene normalmente bajas concentraciones de proteína cruda (Santos *et al.*, 2016).

La concentración de proteína cruda en la planta de maíz tiene estrecha relación con la estructura de la planta. El grano de maíz presenta bajas concentraciones de proteína, debido a la alta proporción de un endosperma almidonoso y no proteico, sumado a que los granos contienen menos humedad que los tejidos vegetativos, como los tallos y las hojas. Por lo que los ensilajes de maíz con alto índice de cosecha (mayor proporción de grano), tendrían mayor contenido de MS, bajas concentraciones de proteína cruda, bajas concentraciones de fibra (< 45% de FDN) y altas concentraciones de almidón. En cambio, los ensilajes de maíz con bajo contenido de MS, presentan un mayor contenido de proteína cruda, alta concentración de fibra y baja concentración de almidón, reflejando una cosecha anticipada del material (Santos *et al.*, 2016).

PARTE DE GRANO

El almidón (ALM), presente en el endospermo de la semilla, es el principal componente energético de los granos de maíz. Su disponibilidad para ser hidrolizado por enzimas del rumen y del intestino, depende tanto de factores físicos como químicos. La composición química de las paredes que recubren el grano como de su grosor determinan la disponibilidad de los gránulos de ALM a ser degradados o no por las enzimas (Caffaratti, 2016).

En el endospermo, se encuentra presente los gránulos de ALM y diversos cuerpos proteicos, pero estos no se encuentran fácilmente disponibles para el ataque enzimático, ya que el endospermo es cubierto por una matriz proteica formadas por prolaminas (Zeínas en maíz). Estas son insolubles en el líquido ruminal, impidiendo que bacterias lleguen a degradar el ALM en el rumen. La insolubilidad de esta cubierta proteica en el rumen es por lo cual se recomienda romper el grano antes de suministrar el grano al animal. Por otro lado se observó en materiales

ensilados que con el pasar del tiempo la prolamina se disuelve debido a la fermentación ácida y el endospermo se vuelve soluble permitiendo que pueda ser degradado por bacterias favoreciendo así la digestibilidad del almidón (Caffaratti, 2016).

HIDRATOS DE CARBONO SOLUBLE

Los carbohidratos solubles juegan un rol fundamental en la conservación del forraje ya que son el sustrato de bacterias fermentativas en el proceso de ensilado. Existen distintos tipos de carbohidratos pudiéndose agrupar en cuatro grupos principales: monosacáridos (glucosa, fructosa, ribosa), disacáridos (sacarosa y maltosa), oligosacáridos y polisacáridos (almidón, celulosa y glucógeno).

Los hidratos de carbono los podemos clasificar según su solubilidad en agua en dos grupos: los carbohidratos solubles en agua (CSA) y los carbohidratos no solubles (CNS). Los CSA como los monosacáridos y disacáridos son empleados por las bacterias para la elaboración de ácidos orgánicos (ácido acético y láctico) (Faraz and Tahir, 2021).

Los carbohidratos son importantes pre- y post-cosecha a nivel nutricional aportando energía, influyendo en la digestibilidad del alimento y en la conservación del ensilaje, siendo el sustrato para que la fermentación se lleve a cabo. La concentración de carbohidratos en la planta y dentro del material ensilado se ve afectado por diversos factores como: la temperatura, el momento de cosecha, el contenido de humedad, el contenido de MS, la altura de corte y el tiempo de duración del proceso ensilaje.

Cuando se cosecha el forraje con alta humedad (>70%) se produce pérdida de los CSA por lixiviación en el material ensilado, afectando la disminución del pH. Con estos niveles de humedad la calidad del silaje estará severamente comprometida, reduciéndose la digestibilidad, aumentando la pérdida por lixiviación e incrementando la pérdida de MS.

Al cosechar el forraje con baja humedad el grano será más duro dificultando su digestibilidad, favorecerá el crecimiento de levaduras y mohos y además afectará significativamente la concentración de carbohidratos del forraje cosechado. Por lo que a medida que aumenta la madurez disminuye el contenido de CSA en la planta debido a la acumulación de almidón en el grano (Faraz and Tahir, 2021).

PARED CELULAR, FDN Y FDA

El mayor contenido de materia orgánica de los tejidos vegetales se encuentra en la pared celular, siendo la principal fuente nutricional para los rumiantes, pero menos del 50 % es fácilmente digerible por los animales. Se considera que la digestibilidad de la pared celular uno de los principales condicionantes de la calidad del material ensilado ya que influye notablemente en el desempeño productivo animal. La pared celular constituye una matriz compleja de polímeros que rodea a las células, las provee de soporte físico y las protege de agentes patógenos (Genero, 2015).

La estimación del contenido de fibra por método analítico a través de detergente neutro (FDN) o ácido (FDA) respectivamente representan a los componentes de baja solubilidad que nutricionalmente son de menor digestibilidad. La determinación del FDN permite comprender el valor nutricional y describir la calidad de un forraje, ya que la FDN y FDA representan la mayor parte de la pared celular. La FDN estima el contenido fibroso del forraje, permitiendo aislar componentes como celulosa, hemicelulosa y lignina. Por lo cual la determinación de la digestibilidad de la FDN es muy empleada debido a su asociación directa con la calidad del forraje, el consumo voluntario y la respuesta animal por parte de los rumiantes (Genero, 2015).

La composición de la pared celular determina con qué grado los microorganismos presentes en el rumen pueden degradarla, ya que esta susceptibilidad se verá fuertemente influido por el contenido de lignina presente en los tejidos vegetales, definiendo la digestibilidad potencial de un forraje (Genero, 2015).

MOMENTO DE PICADO

En la actualidad existen distintos criterios para determinar el momento de cosecha de maíz para silaje. Algunos autores proponen que la cosecha de la planta se debe realizar considerando la humedad alcanzada en el grano, teniendo en cuenta que éste deberá ser sometido a degradación enzimática para ser luego aprovechado por bacterias lácticas.

El criterio de determinación de momento óptimo de picado más empleado hasta hace pocos años fue el grado de avance de la línea de leche; línea que separa el endosperma duro del

endosperma lechoso. Es evidente que el contenido de humedad de la planta completa condiciona el rendimiento y la calidad de la conservación, donde el contenido de MS óptimo debe respetarse ya que valores inferiores o superiores pueden derivar en una fermentación butírica o en un exceso de pérdidas por lixiviación de azúcares en el primer caso (Bragachini, 2008) en la cual la compactación se ve facilitada, pero a expensas de pérdidas de nutrientes por escurrimiento líquido de la planta, generando condiciones ideales para que se desarrollen las bacterias del género *Clostridium*, que perjudican la calidad del forraje conservado (Bertoia, 2015). Inversamente, niveles inferiores de humedad pueden retrasar e incluso impedir que la fermentación se lleve a cabo (Bragachini, 2008); la masa ensilada resulta elástica y tiende a retornar al volumen inicial. Además, con baja humedad, se genera un aumento de la temperatura dentro del ensilaje durante la primera etapa debido a causas de la resistencia que ofrece el forraje a la compactación y consecuentemente a la expulsión del aire (Bertoia, 2015). Por lo cual, esta controversia de solo mirar al grano para determinar el momento de picado no tiene en cuenta al resto de la planta (tallo + hojas), que también formará parte del silaje e influirá en la calidad nutricional del alimento para el ganado. Por lo que en los últimos años se ha comenzado a determinar el momento de picado, sobre la base de un porcentaje de materia seca alcanzado por la planta, lo que hace que después del inicio de la línea de leche, las plantas de maíz deban analizarse para determinar la MS de toda la planta y cosecharse con el contenido de humedad ideal (Bertoia, 2015).

En nuestro país, la disponibilidad de maquinaria propia para realizar las labores de cosecha y confección de silajes está muy condicionada ya que los productores deben recurrir a contratistas para adquirir este servicio. Como la demanda es muy alta en un corto periodo de tiempo y el territorio muy extenso, se hace difícil coordinar el momento ideal de picado y la disponibilidad de la máquina picadora, sumando a la vez las condiciones climáticas adecuadas y la superficie en hectáreas a ser cosechada. Según la cantidad de hectáreas a recolectar y la capacidad del equipo utilizado, es posible que la cosecha tenga que comenzar con una MS más baja y puede terminar con una MS más alta que la recomendada, pero la clave es evitar

cosechar la mayor parte del cultivo que esté demasiado inmaduro o demasiado maduro (Kung and Muck, 2017).

La obtención de plantas de maíz con un contenido de materia seca inferior al 30% a menudo da como resultado forraje con bajas concentraciones de almidón con el potencial de generar cantidades excesivas de lixiviado. En el otro extremo cosechar maíz para ensilaje que esté demasiado seco dará como resultado un forraje que será más difícil de compactar y de lograr expulsar el aire, por lo tanto, puede ser más propenso a un rápido deterioro aeróbico. Si bien aceptamos el hecho de que la planta de maíz en estado avanzado tiene una concentración de almidón elevada y rendimientos de MS superiores, este almidón está asociado con una matriz de almidón-proteína más compleja, lo que hace más difícil su procesamiento óptimo con el picador de forraje y su digestión por parte de la vaca. Además, a medida que avanza el ciclo del pericarpio, se endurece dificultando la degradación del grano. Por lo que ingresar a picar en el momento óptimo da como resultado un buen compromiso entre rendimiento, madurez de la planta, contenido de nutrientes, digestibilidad y aptitud para ser conservado (Kung and Muck, 2017).

Durante mucho tiempo ha tenido mayor peso a nivel nacional, dado a su facilidad y cierto grado de precisión, la determinación del momento óptimo de picado cuando se aprecia en el grano la media línea de leche, presentando la planta un rango adecuado de contenido de MS que permitiría aunar estos conceptos (Bertoia, 2015). Este criterio no contempla la incorporación al mercado de híbridos comerciales “stay green” que genera disparidad entre distintos materiales, ya que en un mismo estadio de media línea de leche, el contenido de humedad de planta completa puede ser diferente al de otro material (Bertoia, 2015). Si se considera sólo el estadio de avance de línea de leche en el grano, sin contemplar el contenido de MS de la planta completa, podría generar problemas de conservación del material ensilado. Esto indica que el mejor criterio para definir el momento ideal de picado es según el contenido de MS de la planta completa (Bertoia, 2015).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Determinar el momento de cosecha adecuado para ensilaje, sin que se generen pérdidas por escurrimiento o respiración en referencia a cantidad y calidad.
- Generar información transferible al medio productivo. Difundir los resultados y conclusiones en revistas de investigación, difusión y mediante charlas a productores.
- Volcar en un trabajo de investigación los conocimientos adquiridos durante los años transcurridos en la facultad.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- La evolución en la calidad nutricional durante el período comprendido entre la primera y última cosecha, tanto en el material pre como post ensilaje.
- Los cambios que surjan en la calidad del ensilaje como consecuencia del estado del cultivo al momento de cosecha.
- Determinar si existen pérdidas en cantidad y/o calidad por efecto de los diferentes estados de madurez al ensilar el forraje.

HIPÓTESIS

El momento de cosecha de la planta de maíz para silaje tiene un fuerte impacto en la calidad nutricional del mismo, como en su grado de conservación, siendo marcadas las pérdidas en calidad si se cosecha antes o después de un período óptimo.

MATERIAS Y MÉTODOS

Los ensayos se realizaron durante la campaña 2022/2023 en el establecimiento “La Esperanza” en la localidad de Cañuelas, Provincia de Buenos Aires (Lat. Sur 35° 03′ 28 71” - Long. W 58° 50′ 05 20”), a 700 m de la ruta nacional 205 (Figura 2,3 y 4).



Figura 2. Área de ensayo.



Figura 3. Distancia desde la ruta 205.

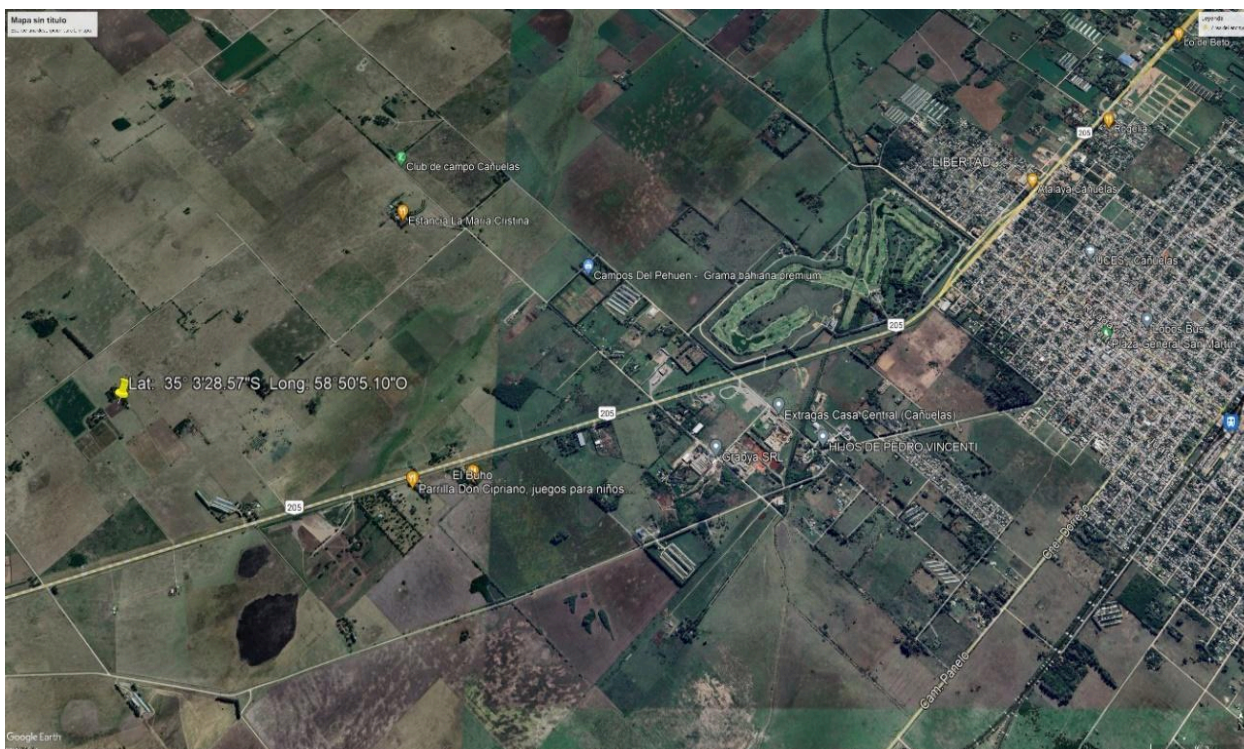


Figura 4. Coordenadas y ubicación geográfica del lote.

El diseño experimental del ensayo fue completamente al azar. En un lote se sembraron tres (3) parcelas, de las cuales se cosecharon plantas de forma aleatoria en cada uno de los cuatro momentos de cosecha. Se empleó el híbrido de maíz KWS Experimental 16 VIP3 con tres (3) repeticiones (Microsilos) por momento de cosecha. La unidad experimental consistió en 2 surcos de 5 m, distanciados a 0,50 m. La siembra se realizó de manera manual mediante sembradora de cono. La densidad de siembra del cultivo fue de 160 mil semillas por ha. Luego se raleó al estado de V3 (Ritchie y Hanway, 1982) para alcanzar una densidad de cosecha de 80 mil plantas por ha.

El cultivo antecesor también fue maíz para silaje. La siembra se realizó en un lote preparado con labranza convencional, mediante rastra de discos de doble acción, el día 28/10/2022.

Se fertilizó con 100 kg de DAP simultáneamente con la siembra, más 100 kg de urea en el estado de V6 (Ritchie y Hanway, 1982), a pesar que los resultados del análisis del suelo previo a la siembra mostraron una buena disponibilidad de estos nutrientes (Ver análisis de suelo).

Previo a la implantación del ensayo se extrajeron muestras de suelo con el objetivo de determinar el contenido de Materia Orgánica, Fósforo (P), Nitratos (NO₃-), Ca, Mg, K y pH.

Nutrientes	Valores
M.O. g/kg de suelo	49,09
N-NO ₃ 0-20 cm	54,61
N-NO ₃ 20-40 cm	12,98
P. extraíble ppm.	29,36
S 0-20 cm	13,44
S 20-40 cm	10,23
pH	6,22
Ca	4,65
Mg	1,59
K	3,43

Tabla I. Análisis de suelo.

- Valores en verde: Suficiente o en exceso.
- Valores en amarillo: En el límite inferior de lo necesario.
- Valores en rojo: Por debajo de lo necesario.

El respectivo control de malezas se realizó aplicando una dosis de atrazina (3 l/ha) como herbicida de amplio espectro más una dosis de acetoclor (2 l/ha) con el objetivo de controlar principalmente chamico (*Datura ferox* L.), aplicados en preemergencia.

En lo que respecta al control de plagas, no se detectó la presencia de orugas. La principal amenaza fue el potencial ataque de cotorras, por lo que se implementaron medidas preventivas como la siembra de borduras y el cubrimiento de las espigas en floración de los surcos exteriores con bolsas comúnmente usadas en cruzamientos. Este procedimiento resultó exitoso ya que no se presentaron daños.

CONDICIONES CLIMÁTICAS

TEMPERATURA Y PRECIPITACIONES

El clima característico de la región es del tipo templado húmedo, con temperaturas medias de 24,7°C en enero y 9,1°C en julio, con una media anual de 16,5°C. El régimen de precipitaciones en el partido de Cañuelas es isohigro, las precipitaciones se distribuyen a lo largo de todo el año, pero presenta mayores precipitaciones registradas en el mes de marzo y las menores precipitaciones registradas en el mes de julio.

La campaña 2022-2023, durante la cual se realizó el ensayo, se caracterizó por ser una campaña seca, debido al efecto del año niña, lo que se vio reflejado en el número de días con precipitaciones, en los mm de precipitados y en una mala distribución de las mismas durante el ciclo del cultivo. Las precipitaciones entre los meses de abril a febrero sumaron en total 275 mm. Las precipitaciones acumuladas durante el periodo de barbecho entre los meses de abril a noviembre fueron de 180,8 mm respectivamente, y las precipitaciones acumuladas durante el ciclo del cultivo arrojó un valor de 94,2 mm.

En la tabla 2, se detalla la cantidad de milímetros precipitados entre los meses de abril a febrero, sumando un total de 275 mm precipitados en la campaña.

Meses	Precipitaciones (mm)
Abril	55
Mayo	27,5
Junio	0
Julio	23,8
Agosto	3,3
Septiembre	4,9
Octubre	9,3
Noviembre	57
Diciembre	29,5
Enero	45,1
Febrero	19,6

Tabla II. Precipitaciones durante el ciclo del cultivo en mm mensuales acumulados.

Debido a que la campaña anterior también presentó características similares en cuanto al nivel de precipitaciones se generaron problemas en la acumulación de humedad en el perfil.

Los valores de precipitación aportados durante la primavera y el verano obligaron a implementar 5 riegos de 20 mm c/u durante el período de máxima demanda de agua del cultivo, con el objetivo de evitar la pérdida del ensayo. Las precipitaciones acumuladas en los meses de enero y febrero no aportaron mucho como así también las precipitaciones registradas previo y posterior a la siembra como a su vez las precipitaciones durante el periodo de floración.

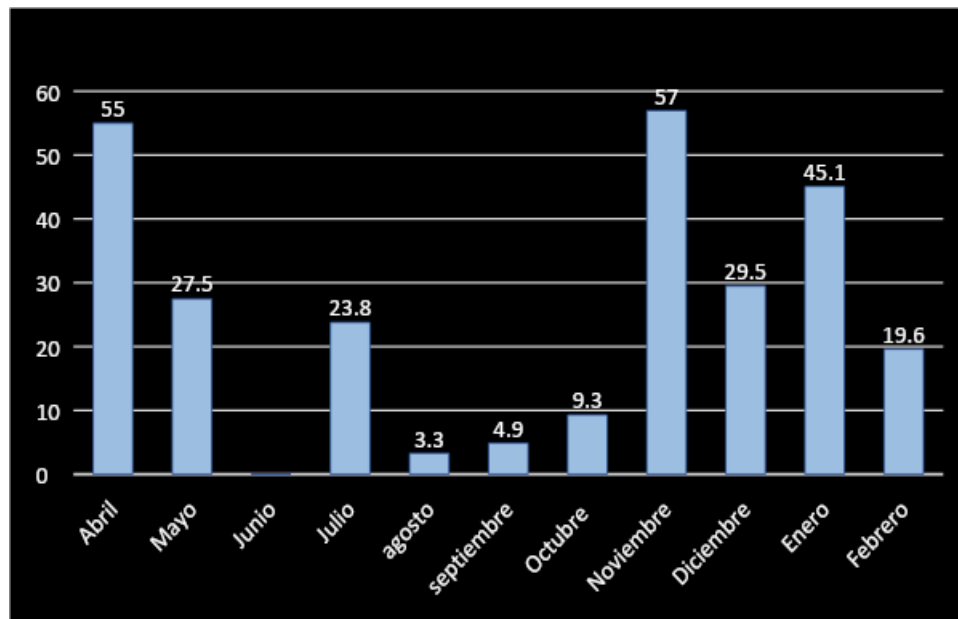


Gráfico 1. Precipitaciones acumuladas en cada mes a partir desde abril del 2022 hasta marzo del 2023.

CONDICIONES EDÁFICAS

En lo que concierne a las características edáficas, el suelo donde se realizó el ensayo forma parte de la serie Brandsen (Br) es un Argiudol Abrúptico, fina, illítica, térmica, su color es grisáceo, es un suelo profundo, presentando una buena aptitud agrícola. Son suelos moderadamente bien drenados, sin problemas de alcalinidad ni salinidad. Se desarrolló a partir de sedimentos loésicos franco limosos, con pendiente entre 0 a 1%.

METODOLOGÍA DE COSECHA

El ensayo se cosechó entre los días 15 de febrero al 15 de marzo del 2023. Se realizaron (4) cosechas comenzando en un estadio con un contenido excesivo de humedad culminando cuando las plantas presentaban un avanzado estado de madurez. En cada cosecha se cortaron veinte (20) plantas.

Las plantas cosechadas fueron sometidas a un proceso de picado a través de una picadora portátil para producir suficiente material vegetal (planta completa) como para confeccionar tres (3) microsilos por corte. Se realizó un doble picado mediante una trituradora de ramas generando un corte similar al realizado por las picadoras de forraje tradicionales.

El forraje picado se colocó en recipientes cilíndricos de PVC, con medidas de 10 cm de diámetro x 50 cm de largo, generando un volumen interno aproximado de 3.927 cm³ (adaptado de Martínez Fernández *et al.*, 2014). Cada recipiente fue pesado previo al llenado con forraje verde y posterior al mismo. La diferencia entre el peso final y el del recipiente permitió calcular el peso del forraje ensilado. Para eliminar el efecto de posibles variaciones en el nivel de compactación se reguló, la presión a un valor constante, mediante el empleo de un presurómetro digital, para simular el efecto que realiza la máquina ensiladora al momento de confeccionar los silos bolsa.



Figura 5. Fotografía del ensayo en el mes de enero del 2023.

DETERMINACIÓN DE MATERIA SECA Y CALIDAD NUTRICIONAL PRE Y POST ENSILAJE

Para cada una de las repeticiones y fecha de cosecha se tomó una muestra de materia verde (siendo esta la referencia de calidad del material previo al ingreso del microsililo). Para ello se tomó el peso verde e inmediatamente se envió a estufa de secado a 60 °C hasta peso constante, con el objeto de determinar en laboratorio el porcentaje de materia seca (% MS) al momento de picado. Luego las muestras se molieron con un molino a cuchillas con una malla de 1 mm para realizar los análisis de calidad nutricional en laboratorio.



Figura 6. Fotografía de la estufa empleada para el secado de las muestras como así la picadora usada para moler las muestras.

Las muestras obtenidas de los microsilos (post-ensilaje) se pesaron y posteriormente colocadas en estufa de secado a 60° hasta alcanzar peso constante. A continuación, se registró el peso y se calculó la diferencia entre el peso inicial (húmedo) y el final (seco) con el objeto de determinar el porcentaje de materia seca (% MS). Estas se molieron con un molino a cuchillas con una malla de 1 mm para realizar los análisis de calidad nutricional en laboratorio.

$$\% \text{ M.S.} = (\text{Peso final} / \text{Peso inicial}) \times 100$$

Los análisis de calidad en laboratorio se llevaron a cabo mediante el uso de espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS: Near Infrared Reflectance Spectroscopy

System—FOSS NIRSystem 6500) (Shenk & Westerhaus, 1994). Se utilizaron las curvas de calibración para los parámetros de calidad basándolos en la siguiente técnica de referencia:

Digestibilidad in vitro: Método de solución enzimática (Pepsina + celulasa) utilizando bolsitas filtrables en el incubador Daisy II Ankon (Tassone *et. al.*, 2020).

Además, el equipo determinó otras variables que serán utilizadas para la redacción de nuevos trabajos.

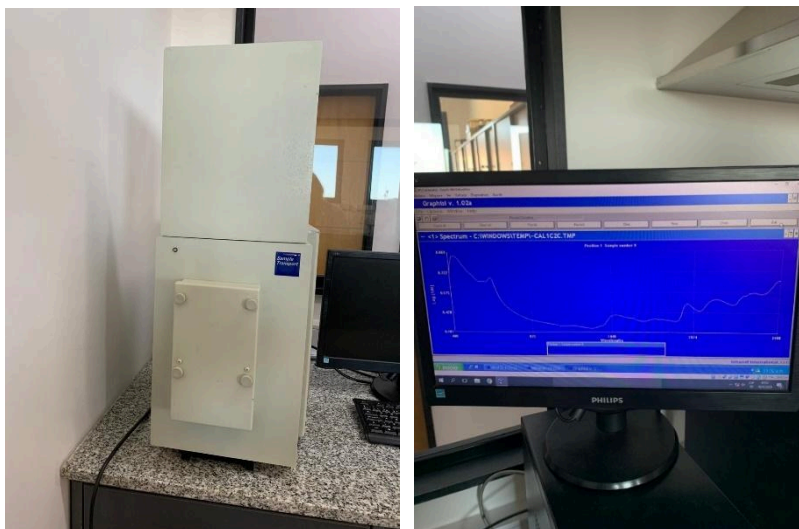


Figura 7. Espectrofotómetro de Infrarrojo Cercano (NIRS).



Figura 8. Analizador ANKON.

La determinación se realizó sobre muestras de materia seca pre y post-ensilaje. Sobre éstas últimas también se estimó el pH.

MEDICIÓN DEL pH

La medición del pH en el microsililo se realizó a través de un medidor de pH digital, Bluelevel. Se emplearon dos soluciones buffer para calibrar el peachímetro a pH 4 y pH 7. En cuanto al procedimiento de medición, el pH se midió en el centro del microsililo, para ello se abrió de un extremo del mismo, se retiró material ensilado de los primeros cinco (5) cm de la abertura, y se introdujo el electrodo del peachímetro en el orificio del material ensilado. Se tomó el valor de pH que figuraba constante después de seis (6) segundos de estabilización. Entre mediciones de los microsilos se procedió a lavar la punta del electrodo del peachímetro con agua destilada aplicándose en forma de rocío luego se mojó con probeta cargada de agua destilada y se procedió secar con papel absorbente del laboratorio.



Figura 9. Foto del medidor de pH digital empleado para analizar los microsilos, junto a una foto de uno de los microsilos.



Figura 10. Se aprecia la secuencia de medición de pH de distintas muestras.



Figura 11. Variación de la medición del pH de las muestras durante el análisis.



Figura 12. Balanza micro analítica empleada para tomar las mediciones junto a una muestra de microsilo antes de enviar a estufa.



Figura 13. Muestras de microsilo secándose en la estufa.

Análisis estadístico: Se graficó la evolución de cada una de las variables generando las diferentes ecuaciones de las curvas de ajuste mediante Regresión, determinando la significancia de los Coeficientes de Determinación.

Variable a evaluar en ambos componentes.

- Digestibilidad “in vitro” de la materia seca (% Dig).

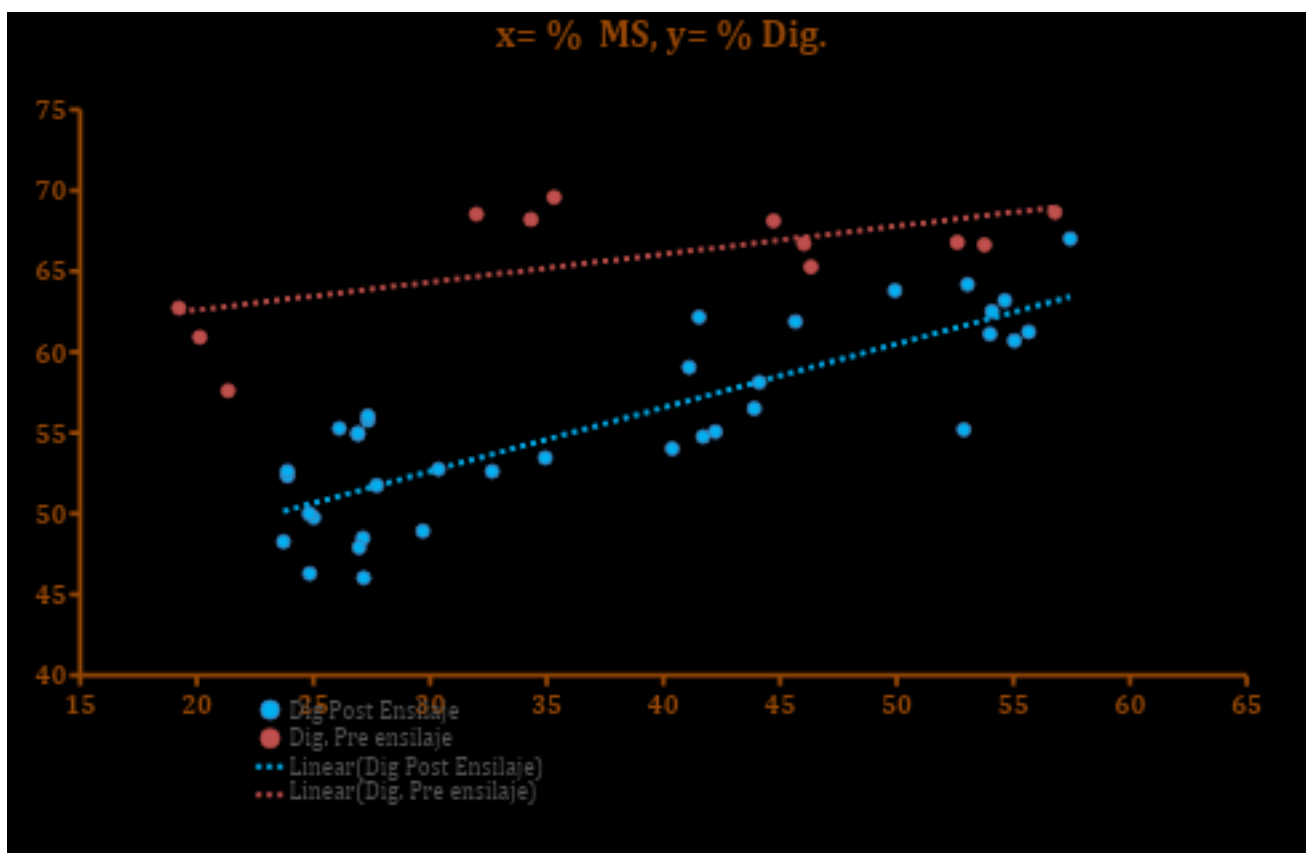
Variables a evaluar solamente en el forraje post-ensilaje.

- pH

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

RESULTADOS

Gráfico 2. Respuesta de las variables Digestibilidad (% Dig) en función del contenido de Materia seca (% MS), pre y post ensilaje.



En el gráfico aprecia cómo el incremento en el contenido de materia seca en la planta (Pre ensilaje) generó un incremento en la digestibilidad *in vitro* de la misma. La respuesta se ajustó a una ecuación polinómica de segundo grado con un coeficiente de determinación (R^{2**}) significativo y elevado, por lo que se concluye que existió una relación positiva y significativa

entre el contenido de materia seca y la Dig. de la planta. Siendo este rango de Dig. de un 69% para un contenido de 35% de MS y un 68% de Dig. para un contenido del 45% de MS. Estos resultados se deberían a que a medida que avanzó el ciclo ontogénico de la planta, la espiga fue la que aportó mayor calidad a la misma ya que incrementó su concentración de materia seca en forma de almidón en el grano, compensando favorablemente la caída de calidad del componente vegetativo (Bertoia, 2015).

En el gráfico se puede apreciar cómo al aumentar el contenido de materia seca en la planta se registró un incremento en la Dig. *in vitro* post-ensilaje de la misma. La respuesta se ajustó a una ecuación lineal con un coeficiente de determinación (R^{2**}) positivo y significativo elevado, lo cual permitió concluir que se generó una relación importante entre el contenido de materia seca y la Dig. de la planta después de ser sometida a un proceso de conservación fermentativo. Siendo este rango de Dig. de un 53,5% para un contenido de 35% de MS y un 61,9% de Dig. para un contenido del 45,66% de MS.

Si bien la Dig. aumentó linealmente con el incremento en el contenido de MS en el material ensilado, un contenido de MS por encima del 45% en el silo causa dificultades de compactación de la masa ensilada generando así una masa elástica que dificulta los trabajos de compresión (Kung and Musk, 2017). Con lo cual contenidos de MS superiores presentan condiciones poco favorables para llevar a cabo la fermentación (Bragachini, *et al.* 2008). Un contenido de MS inferior al 30% generaría pérdidas en la masa ensilada en forma de jugos (Hds) que dejarían de ser sustrato para las bacterias fermentadoras favoreciendo la proliferación y desarrollo de bacterias que degradan la calidad del silo (Faraz and Tahir, 2021).

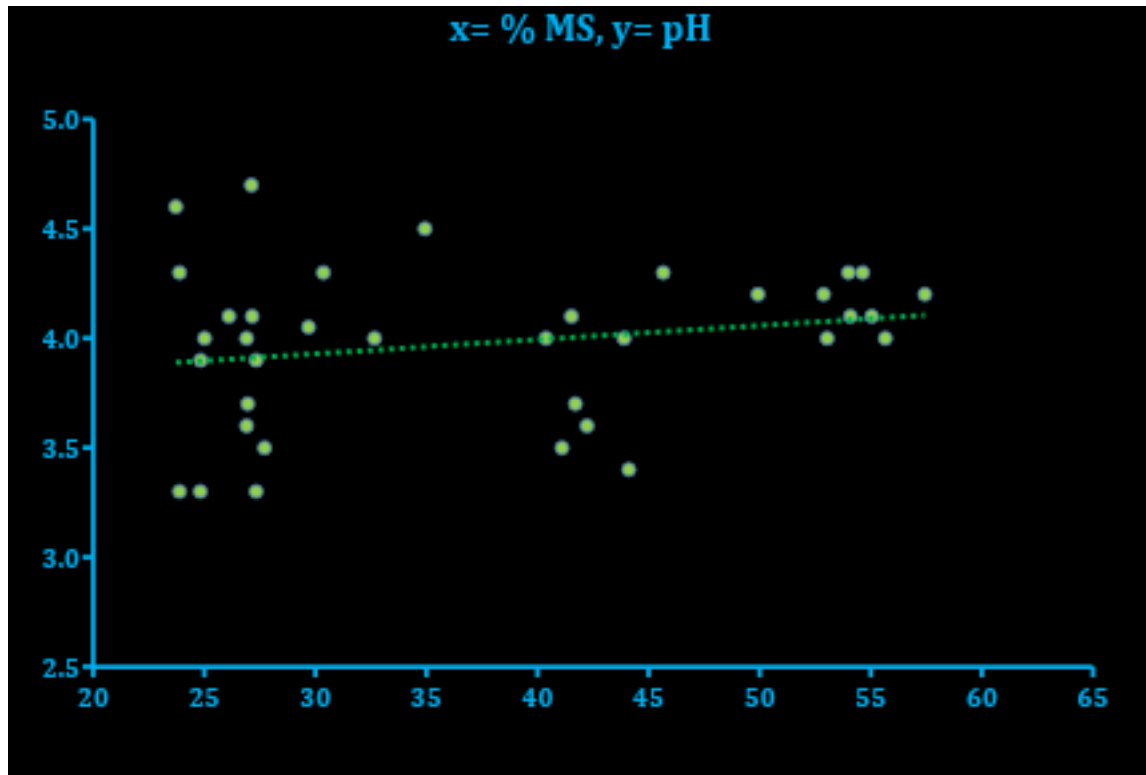
Mismos criterios abordan investigaciones recientes de García Chávez *et al.*, (2022) donde consideran que una gran cantidad de MS genera dificultades en la compactación, generando retención de aire que provoca el calentamiento del material ensilado y pérdidas de calidad. Cuando el material es ensilado con alta humedad (menor a 28% de MS) provoca una mayor filtración en el silo y reduce el consumo de MS. Por otro lado, cuando se ensila un material demasiado seco (mayor al 40% de MS) aparecen dificultades en la compactación y el oxígeno retenido generará una mala fermentación.

En la línea curva de pre-ensilaje se aprecia un amesetamiento de la curva de Dig., la cual subió gradualmente hasta un contenido del 44,72% de MS, siendo la Dig. del 68,11%, y luego ésta comenzó a decaer gradualmente a medida que aumentó el contenido de MS. Se aprecia que para un intervalo de MS del 31,99 al 52,60% la Dig. estuvo en el rango del 68,53-66,79%.

En post-ensilaje la Dig. aumentó linealmente con el aumento del contenido de MS. Para igual contenido de MS, la Dig. resultó menor, demostrando que la calidad de la masa ensilada nunca puede ser mayor a la del forraje verde (pre-ensilaje) (Genero, 2015).

En investigaciones actuales (García Chávez *et al.*, 2022) destacan que en los forrajes de calidad la digestibilidad *in vitro* de la MS ronda en el 70 % (Cardozo, 2013 citado por García Chávez *et al.*, 2022). Concluyeron que el rango ideal de digestibilidad se alcanza dentro del 52-68 % de Dig. de MS, lo cual podría estar relacionado con un aumento de la madurez de la planta, durante el momento de cosecha. A medida que la madurez avanza, disminuye la digestibilidad *in vitro* de la MS (Arriola *et al.*, 2012, citado por García Chávez *et al.*, 2022). De acuerdo a Arriola *et al.*, (2012) la máxima digestibilidad de MS se logró cuando se cosechó entre 32 a 37% de MS siendo el rango de 66,9 y 62,4% de digestibilidad respectivamente, reconociendo que la digestibilidad aumenta con la madurez de la planta, y sugiriendo que el valor de 37% de MS es el momento ideal que maximiza contenido de MS con digestibilidad.

Gráfico 3. Respuesta de la concentración de pH en función del contenido de Materia seca (% MS), post ensilaje.



En este gráfico se puede apreciar cómo el incremento en el contenido de materia seca en la planta no generó una respuesta significativa en el pH en la masa ensilada. Se ajustó a una ecuación lineal con un coeficiente de determinación (R^2) muy bajo y no significativo, lo cual permite concluir que no existió relación alguna entre el contenido de materia seca y la concentración de pH de la masa ensilada.

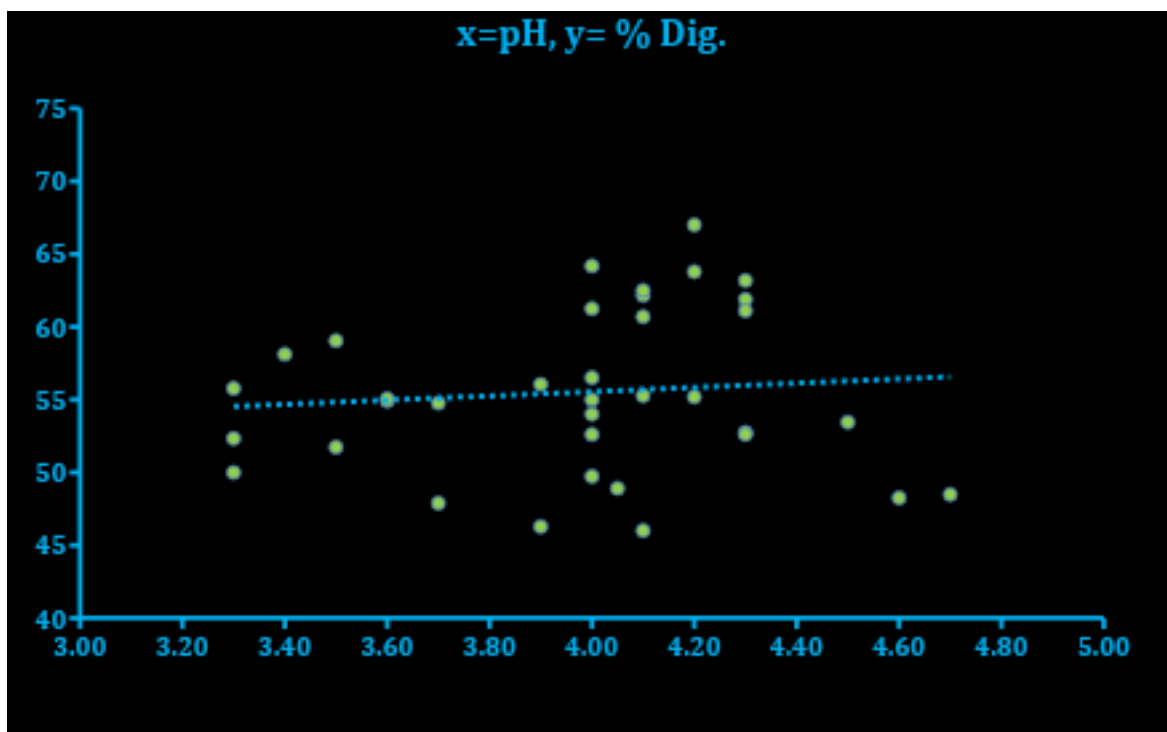
Según Arriola *et al.*, (2012) para un contenido de MS del 25 al 37 %, el pH aumentó linealmente de 3,72 a 3,77, debiéndose esta respuesta a disminuciones lineales en las concentraciones de ácidos láctico y acético con la madurez. Se atribuyó esta respuesta a una combinación de la disminución en la concentración de hidratos de carbono solubles y una reducción en el crecimiento de bacterias lácticas a medida que el ciclo del cultivo avanzaba.

Bedrosian *et al.*, (2012) destacan que el contenido de MS del silaje aumentó con la madurez; en el pH del forraje pre-ensilaje osciló entre 5,77 y 5,83, y disminuyó a un promedio de

3,72 después de 45 días de ensilaje. El pH se mantuvo constante en silajes con 32% de MS, disminuyendo después de 180 días de ensilaje para un contenido de 41 % de MS.

Rabelo *et. al.*, (2015) mostraron que posterior a la apertura de los silos una mayor estabilidad en el silaje de maíz producido con plantas cosechadas durante la etapa 2/3 línea de leche con un contenido promedio del 34 % de MS. Presentando una situación intermedia para la etapa ½ línea de leche con un contenido promedio del 32 % de MS. Mientras que un estadio menos maduro (1/3 de línea de leche) presentó una menor estabilidad aeróbica. Esto se debe a que los ensilajes con mayor contenido de humedad generan pérdidas en la fermentación debido a la mayor producción de efluentes. Además, destacaron que al avanzar la madurez de las plantas se redujeron los niveles de concentración de Hdc solubles, disminuyendo consigo la producción de ácidos orgánicos. Cae la producción de ácido láctico pero aumenta la relación entre la concentración de este ácido con respecto a otros ácidos orgánicos. Por lo que los ensilajes con un mayor contenido de MS presentan un pH más alto debido a una menor relación entre láctico/acético en comparación con los ensilajes más húmedos. También concluyeron que el ácido láctico no controla el desarrollo de levaduras y mohos post apertura de silo.

Gráfico 4. Respuesta de la Digestibilidad (% Dig) en función de la concentración de pH, post ensilaje.



En el gráfico se puede apreciar cómo respondió la Dig. de la masa ensilada según la concentración de pH. Se ajusta a una ecuación lineal con un coeficiente de determinación (R^2) muy bajo y no significativo, prácticamente inexistente, lo cual permite concluir que no se encontró relación alguna entre la Dig. y la concentración de pH de la masa ensilada. No hemos encontrado trabajos donde se relacione la digestibilidad con el pH de manera directa.

CONCLUSIONES

Cabe destacar que este trabajo se realizó en condiciones controladas, sellándose a los microsilos de manera hermética para garantizar la completa anaerobiosis dentro del recipiente. Esta situación no se da en campo donde los silos una vez abiertos son sometidos al deterioro oxidativo por parte del oxígeno, generando pérdidas en cantidad y calidad. Los resultados obtenidos mostraron que la hermeticidad en un silo permite obtener una excelente conservación del forraje. Tal hermeticidad es complicada lograrla en condiciones a campo, por lo cual se requiere una intensa compactación que expulse la mayor cantidad de aire (oxígeno) de la masa ensilada y tapar el silo lo antes posible para evitar el reingreso de aire a la misma. El efecto de la degradación se produce por el accionar de hongos y levaduras en ambientes aeróbicos (que generan descomposición del forraje ensilado, además de la acumulación de micotoxinas) muy peligrosas para el animal.

La calidad del forraje medida a través de la Digestibilidad mostró que la conservación produjo una caída de los valores aunque fueron mínimos. Tal respuesta permite reafirmar que el sistema de conservación de forrajes por vía húmeda (Ensilaje) es un excelente método para preservar la calidad forrajera en maíz a lo largo de un período prolongado.

Se confirmó que el momento de cosecha de la planta de maíz para silaje tiene un fuerte impacto en la calidad nutricional del mismo, como en su grado de conservación. Son marcadas las pérdidas de calidad en ambientes productivos bajo condiciones reales si se cosecha antes o después del período 30-45 % de materia seca de la planta completa, al que consideramos óptimo.

El momento de cosecha es uno de los factores más importantes que influyen en la conservación del forraje tanto como en el valor nutritivo. Por lo cual, ensilar con un adecuado contenido de humedad garantiza una fermentación correcta preservando el material ensilado y obteniendo como resultado final un forraje de características nutritivas similares al material pre ensilado.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade F., Otegui M. E., Cirilo A., Uhart S., (2023)** Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz;
Disponible en:
https://www.maizar.org.ar/documentos/cultivo%20de%20maiz_version%20digital.pdf
- Arriola K., Kim S., Huisden C., & Adesogan A. (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> pp. 973, 974.
- Bedrosian, M. C. D., 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> pp. 5117.
- Bertoia, L. M., (2015).** Guia Limagrain de silajes de maíz. Recuperado de:
<https://www.lgseeds.es/blog/guia-practica-de-maiz-ensilado/> pp. 6-17, 31,32.
- Bragachini, M., Cattani, P., Gallardo, M., & Peiretti, J. (2008).** Forrajes conservados de alta calidad y aspectos relacionados al manejo nutricional (High quality conserved forage and aspects related to nutritional management). *Córdoba, Argentina: INTA EEA*.
https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/26754/mod_resource/content/2/libroForrajes-web.pdf pp. 25, 154-158.
- C.A.C.F.; Cámara Argentina de Contratistas Forrajeros. (2023).** Estadísticas Ensilajes Argentina, Recuperado de: <https://www.ensiladores.com.ar/>
- Caffaratti O. A. (2016).** Efecto del tiempo de maduración sobre la calidad de silajes de planta entera de maíz (*Zea mays* L.) y sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench.) recuperado de:
https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/285-efecto_del_tiempo.pdf pp. 15.
- Demagnet Filippi, R., & Canales Cartes, C. (2020).** Manual cultivo del maíz para ensilaje. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/330e0c44-f710-42b9-b76f-b910108f9ad2> pp. 4.

- García-Chávez, I., Meraz-Romero, E., Castelán-Ortega, O., Zaragoza-Esparza, J., Osorio-Avalos, J., Robles-Jiménez, L. E., & González-Ronquillo, M. (2022).** Ensilado de maíz, una revisión sistemática de la calidad y el rendimiento en diferentes regiones del mundo. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 23(3).
https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num3_art:2547
- Género, 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. <https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/938> pp. 1-13.
- Guidi Eguía, B. (2020.).** *Evaluación de la conservación y calidad nutricional de ensilajes de pasturas y cereales de invierno elaborados en predios comerciales*. Tesis de maestría. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Veterinaria.
<https://hdl.handle.net/20.500.12008/29098> pp. 69.
- Faraz A., M. and Thair M. (2021).** *An Overview on the Factors Affecting Water-soluble Carbohydrates Concentration during Ensiling of Silage*. Journal of Plant and Environment. 3. 63-80.
<https://www.journals.esciencepress.net/index.php/JPE/article/view/3702/pdf> pp. 64-68.
- Kung Jr, L., & Muck, R. E. (2017).** Silage harvesting and storage. *Large dairy herd management*, 3rd ed. Champaign (IL): American Dairy Science Association, 723-738.
https://www.researchgate.net/publication/324223688_Silage_Harvest_and_Storage pp. 6.
- Kung Jr, L. (2017).** Manejo del ensilaje 101– Lo básico. Universidad de Delaware. Departamento de ciencias animales y alimentarias. Recuperado de:
https://nydairyadmin.cce.cornell.edu/uploads/doc_630.pdf pp. 2-7.
- Martínez Fernández, A., Argamentería Gutiérrez, A., & Roza Delgado, B. D. L. (2014).** Manejo de forrajes para ensilar.
<https://ria.asturias.es/RIA/bitstream/123456789/5501/1/Archivo.pdf>

- Ramírez, E., Catani, P., & Ruiz, S. (1999).** La importancia de la calidad del forraje y el silaje. *Sitio Argentino de Producción Animal*, 2, 23-28.
https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/20-la_%20importancia_de_la_calidad_del_forraje_y_el_silaje.pdf pp. 1.
- Rabelo, Carlos & Rezende, Adauton & Silveira Rabêlo, Flávio & Carvalho Basso, Fernanda & Härter, Carla & Reis, Ricardo. (2015).** Chemical composition, digestibility and aerobic stability of corn silages harvested at different maturity stages. *Revista Caatinga*. 28. 107-116.
https://www.researchgate.net/publication/281690749_Chemical_composition_digestibility_and_aerobic_stability_of_corn_silages_harvested_at_different_maturity_stages
- Ritchie, S. and Hanway, J. J. 1982.** How a corn plant develops. Iowa State Univ. Technol. Spec. Rep., 48p.
- Santos, E. & Mari, L. J. & Reis, R. A. & Ferreira, G. (2016).** Advances in Silage Production and Utilization. 10.5772/61574. DOI: 10.5772/61574 pp. 40-44.
- Shenk, J. S., & Westerhaus, M. O. (1994).** The application of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to forage analysis. Forage quality, evaluation, and utilization, pp. 406-449.
- Tassone, S.; Fortina, R.; Peiretti, P. G.** In vitro techniques using the DaisyII incubator for the assessment of digestibility: A review. *Animals*, 2020, vol. 10, no 5, p. 775.
- NC State Extension Publications. (n.d.).** Forage conservation techniques: Silage and haylage production. North Carolina State University. Recuperado de:
<https://content.ces.ncsu.edu/forage-conservation-techniques-silage-and-haylage-production>.
- Zannier, S. (2012).** Caracterización del valor nutritivo de los silajes de maíz de la Llanura Pampeana y la Mesopotamia Argentinas. Disponible en:
<https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/457> pp. 10.