

**EFFECTO DE LA FECHA DE SIEMBRA SOBRE LA DEGRADABILIDAD
RUMINAL DEL ALMIDÓN DE MAÍZ**

Nicolás Eduardo Rusoci

Trabajo de Tesis para ser presentado como requisito parcial para optar al título
de

MAGISTER SCIENTIAE en Producción Vegetal

Área Ciencias de las Plantas y Recursos Naturales

PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS AGRARIAS

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MAR DEL PLATA

Balcarce, Argentina

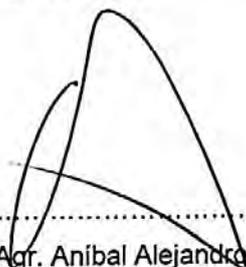
Agosto 2021

**EFFECTO DE LA FECHA DE SIEMBRA SOBRE LA DEGRADABILIDAD
RUMINAL DEL ALMIDÓN DE MAÍZ**

Nicolás Eduardo Rusoci

.....
Ing. Agr. Enrique Paván, M.Sc., Ph.D.

Director de Tesis



.....
Ing. Agr. Anibal Alejandro Cerrudo, M.Sc., Dr.

Co-Director de tesis



.....
Ing. Agr. María Delfina Montiel, M.Sc., Dr.

Asesora

**EFFECTO DE LA FECHA DE SIEMBRA SOBRE LA DEGRADABILIDAD
RUMINAL DEL ALMIDÓN DE MAÍZ**

Nicolás Eduardo Rusoci

Aprobada por:



Prof. Liana TRIARTE, Mag
Secretaría de Posgrado
Facultad de Ciencias Agrarias
UNMdP

p/a

.....
Ing. Agr. Darío Colombatto, *Dr.*



Prof. Liana TRIARTE, Mag
Secretaría de Posgrado
Facultad de Ciencias Agrarias
UNMdP

p/a

.....
Lic. en Ciencia y Tec. de Alimentos José A. Gerde, *M.Sc., Ph.D.*



Prof. Liana TRIARTE, Mag
Secretaría de Posgrado
Facultad de Ciencias Agrarias
UNMdP

p/a

.....
Ing. Agr. Irene Ceconi, *M.Sc., Dra.*

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a todos aquellos que creyeron en mí.

AGRADECIMIENTOS

- A mi director de tesis Enrique Paván, por su tiempo, dedicación y conocimientos transmitidos a lo largo de este proceso de formación que fueron muy valiosos y sumamente enriquecedores.
- A mi codirector de tesis Aníbal Cerrudo, por su aliento constante, dedicación y por los conocimientos y experiencias transmitidos que fueron muy importantes en este proceso de formación.
- A mi asesora de tesis María Delfina Montiel, por las consultas realizadas como así también por su tiempo y dedicación cada vez que precise algo.
- A Fernando Andrade por su apoyo, ayuda y por los conocimientos transmitidos cada vez que lo requerí.
- A los integrantes del grupo de Nutrición y Metabolismo animal de la EEA Balcarce, los cuales siempre estuvieron muy bien predispuestos para enseñarme y ayudarme en lo que precisase.
- A los integrantes del grupo de Ecofisiología de cultivos de la EEA Balcarce, por su compañerismo, apoyo constante y ayuda en todas las tareas realizadas. Han sido una parte muy importante a lo largo de este proceso.
- A Natalia Izquierdo, por su tiempo y valiosa ayuda en muchas tareas de laboratorio las cuales fueron un gran aprendizaje.
- A Gloria Monterubbianesi por las consultas sobre estadística.
- A la Unidad Integrada INTA Balcarce, por darme el lugar y herramientas para realizar mi ensayo de tesis.
- A la EEA San Luis y especialmente a Claudio Sáenz, por abrirme las puertas del INTA y por haberme dado la posibilidad de formarme en la Unidad Integrada INTA Balcarce.

- A mis padres y a mi hermana, por su apoyo y acompañamiento constante durante estos años.

ÍNDICE

Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Resumen.....	xi
Abstract	xii
1- INTRODUCCIÓN.....	1
2- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Caracterización de la estructura y composición de los granos de maíz .	3
2.2. Caracterización de la degradabilidad ruminal y las propiedades físicoquímicas del grano de maíz.....	5
2.3. Caracterización de la relación fuente/destino del cultivo	5
2.4. Consideraciones finales.....	6
3- HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	8
3.1. Hipótesis.....	8
3.2. Objetivo general	8
3.3. Objetivos específicos.....	8
4- MATERIALES Y MÉTODOS	9
4.1. Lugar y tratamientos	9
4.2. Mediciones y estimaciones	10
4.2.1. Relación fuente/destino del cultivo de maíz durante el período de llenado del grano	10
4.2.2. Características físicas del grano.....	11
4.2.2.1. Vitrosidad.....	11
4.2.2.2. Densidad.....	12
4.2.2.3. Peso hectolítrico.....	12
4.2.2.4. Dureza	12
4.2.3. Degradación ruminal de la materia seca y del almidón del grano de maíz	13
4.2.4. Características químicas del grano	14
4.2.5. Análisis estadísticos	15
5- RESULTADOS	16
5.1. Relación fuente/destino del cultivo de maíz	16
5.2. Temperatura del aire y radiación durante la estación de crecimiento 2015-16.....	16

5.3. Características fisicoquímicas del grano de maíz	17
5.4. Degradación ruminal de la materia seca y del almidón del grano de maíz.....	19
6- DISCUSIÓN.....	22
7- CONCLUSIONES	25
8- BIBLIOGRAFÍA	26
9- APÉNDICE	31
Figura I. Regresión lineal entre la técnica por imágenes usando el software Image J y la propuesta por Dombrink- Kurtzman y Bietz (1993)	31
Figura II. Corte sagital de los granos de maíz	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Influencia de las fechas de siembra sobre las características fisicoquímicas del grano de maíz	18
Tabla 2. Influencia de las fechas de siembra sobre parámetros de la degradación ruminal <i>in situ</i> y la degradabilidad efectiva de la MS del grano de maíz.....	20
Tabla 3. Influencia de las fechas de siembra sobre parámetros de la degradación ruminal <i>in situ</i> y la degradabilidad efectiva del almidón del grano de maíz.....	20
Tabla 4. Correlaciones de Pearson entre las características físicas del grano de maíz, la relación fuente/destino, parámetros de la degradación ruminal <i>in situ</i> y la degradabilidad efectiva de la MS y del almidón.....	21

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Fuente, destino y relación fuente/destino de los cultivos de maíz, en función de los días de siembra a partir del 1 de octubre 16**
- Figura 2. Temperatura media del aire (°C) y radiación (MJ m⁻² d⁻¹) en función de los días desde el 1° de Octubre de 2015.....17**
- Figura 3. Densidad, vitrosidad, dureza y peso hectolitrito de los granos de maíz como una función de la relación fuente/destino establecida durante el periodo de llenado del grano 18**

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fecha de siembra sobre a) la degradabilidad efectiva del almidón, b) las características físicas del grano y c) la relación fuente/destino del cultivo de maíz durante el período de llenado del grano. También se evaluó la correlación entre las características físicas del grano y a) la degradabilidad efectiva del almidón y b) la relación fuente/destino del cultivo de maíz durante el período de llenado del grano. Adicionalmente, se evaluó la correlación entre la relación fuente/destino del cultivo de maíz durante el periodo de llenado del grano y la degradabilidad efectiva del almidón. Se sembraron y cosecharon tres parcelas para cada fecha de siembra en un diseño de bloques completos al azar usando las parcelas como unidades experimentales. Se definieron ocho fechas de siembra durante la temporada de crecimiento 2015-16: 13 de octubre; 4, 17 y 26 de noviembre; 3, 15 y 28 de diciembre y 5 de enero. Las parcelas se cosecharon de una semana a diez días después de alcanzar la madurez fisiológica del grano. Las características físicas del grano de maíz fueron afectadas por las fechas de siembra ($P < 0.001$). Los mayores niveles de densidad del grano se obtuvieron el 4 y 17 de noviembre mientras que el mínimo valor se obtuvo el 5 de enero. La vitrosidad y la dureza del grano fueron constantes hasta el 17 de noviembre, pero a partir de entonces disminuyeron, alcanzando el mínimo valor el 5 de enero. El peso hectolítrico fue constante hasta el 15 de diciembre y después disminuyó. La relación fuente/destino (relación entre la fuente de asimilados y la demanda de los granos) durante el período de llenado del grano disminuyó en forma cuadrática con el retraso de las fechas de siembra ($R^2 = 0.97$; $P < 0.0001$). La degradabilidad efectiva del almidón del grano de maíz molido (2.0-mm) varió de 631 g kg^{-1} a 801 g kg^{-1} entre las fechas de siembra, siendo mayor en la fecha de siembra temprana (13 de octubre) y en las tardías (28 de diciembre y 5 de enero; $P < 0.01$). La degradabilidad efectiva del almidón (tasa de pasaje del $6\% \text{ h}^{-1}$) se correlacionó negativamente con las cuatro características físicas del grano de maíz evaluadas ($r \leq -0.48$; $P < 0.05$). Las cuatro características físicas del grano se correlacionaron con la relación fuente/destino durante el período de llenado del grano ($r \geq 0.89$; $P < 0.0001$). En el corriente estudio, retrasos en la fecha de siembra incrementaron la degradabilidad efectiva del almidón. Este incremento se puede predecir por variaciones en las características físicas de los granos de maíz.

Palabras claves: relación fuente/destino, grano, rumen, ganado.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of sowing date on a) the effective degradability of starch, b) the physical characteristics of the corn kernel and c) the corn crop source/sink ratio during the grain filling period. The correlation between the physical characteristics of the kernel and the effective degradability of starch as well as between the former and the corn crop source/sink ratio during the grain filling period were also evaluated. Finally, the correlation between the corn crop source/sink ratio during the grain filling period and the effective degradability of starch was determined. Three plots were sown and harvested for each sowing date in a randomized complete block design and the plots were used as the experimental units. Eight sowing dates were defined: October 13th, November 4th, 17th and 26th, December 3rd, 15th, and 28th and January 5th. The plots were harvested from one week to ten days after reaching the physiological maturity of the grain. The physical characteristics of the corn grain were affected by the sowing dates ($P < 0.001$). The highest grain density values were obtained on November 4th and 17th, while the lowest value was detected on January 5th. Grain vitreousness and hardness remained constant until November 17th but decreased thereafter, reaching the lowest value on January 5th. The test weight was constant until December 15th and then decreased. The source/sink ratio (relationship between the source of assimilates and the demand for the grain) during the grain filling period decreased with the sowing dates ($R^2 = 0.97$; $P < 0.0001$). The effective degradability of starch (corn grains were ground using a 2.0-mm sieve) ranged from 631 to 801 g kg⁻¹ among sowing dates, being greater for the earliest (October 13th) and later (December 28th and January 5th $P < 0.01$) sowing dates. The effective degradability of starch (passage rate of 6% h⁻¹) was negatively correlated with each of the four physical characteristics of the grain ($r \leq -0.48$; $P < 0.05$) and the latter were correlated with the source/sink ratio during the grain filling period ($r \geq 0.89$; $P < 0.0001$). In the current study, delaying sowing dates increase effective starch degradability. This increase can be predicted by variations on corn grain physical characteristics.

Key words: source/sink ratio, grain, rumen, cattle.

1- INTRODUCCIÓN

Alrededor del 66% de la cosecha mundial de maíz (*Zea mays* L.) se destina a la alimentación del ganado (Dowswell *et al.*, 2019). El contenido de almidón del grano de maíz es 72% (Ranum *et al.*, 2014), siendo para los rumiantes una fuente importante de energía (Svihus *et al.*, 2005). Los rumiantes pueden digerir el almidón en el rumen y en el intestino delgado, sin embargo, la capacidad del intestino delgado es limitada (Huntington *et al.*, 2006). De acuerdo con Owens *et al.* (1986), la menor digestión intestinal está asociada al tiempo de digestión en el intestino y al tamaño de partícula y exposición del almidón. Huntington *et al.* (2006) observaron que el almidón aparentemente degradado en el intestino delgado disminuyó del 80 al 34% a medida que la cantidad de almidón que ingresaba al mismo aumentó de 0.2 a 2.0 kg d⁻¹.

En dietas de terminación, con altas proporciones de grano en la dieta (70-80% de la materia seca), cambios en la degradación ruminal del almidón afectan la cantidad de almidón que alcanza el intestino delgado. Dado que la absorción intestinal de almidón es limitada, debe maximizarse su degradación ruminal para evitar ineficiencias debido a su menor absorción intestinal (Huntington *et al.*, 2006). Por ello, es importante conocer la posible degradación ruminal del almidón del grano de maíz que se utilizará en la alimentación de rumiantes y comprender los diferentes factores que pueden afectarla.

La degradación ruminal del almidón se ve afectada por el genotipo de maíz. Este efecto se ha asociado con la estructura y composición del grano (Philippeau *et al.*, 1999; San Martín, 2002). El grano de los genotipos flint, que se caracterizó por tener una mayor relación de endosperma córneo/harinoso, mayor vitrosidad y mayor densidad, presentó menor degradación ruminal del almidón que aquel proveniente del grano de los genotipos dentados (Philippeau *et al.*, 1999; Correa *et al.*, 2002; San Martín, 2002). El endosperma harinoso tiene menos contenido de proteína bruta que el endosperma córneo (Dombrink-Kurtzman y Bietz, 1993) y la matriz de proteínas que rodean los gránulos de almidón en el primero es discontinua lo que facilitaría el acceso de los microorganismos ruminales (McAllister *et al.*, 1993).

Además del genotipo, existen otros factores que podrían afectar la estructura del grano. Recientemente se observaron cambios en la estructura del grano de maíz debidos a las condiciones ambientales bajo las cuales crece el cultivo, similares a

los observados entre genotipos (Cerrudo *et al.*, 2017). Estas condiciones pueden caracterizarse por la relación entre la cantidad de asimilados generados por el cultivo durante el período de llenado del grano (fuente) y la demanda de asimilados por los granos (destino) (relación fuente/destino; Cirilo *et al.*, 2011). Estos granos fueron determinados en el período de floración (Cerrudo *et al.*, 2013). Es de destacar que la relación fuente/destino es afectada por las prácticas de manejo del cultivo (Cirilo y Andrade, 1994; Bonelli *et al.*, 2016).

En Balcarce, sin limitaciones hídricas ni nutricionales, los mayores rendimientos de maíz se obtienen con fechas de siembra tempranas en el mes de Octubre, en comparación con fechas de siembras tardías durante los meses de Noviembre, Diciembre y Enero (Bonelli, 2013). En Argentina, más del 50% de la cosecha de maíz corresponde a siembras tardías, cuyo objetivo es lograr la estabilidad del rendimiento al reducir el riesgo de déficit hídrico durante el período crítico de floración (Maddonni, 2012). En ambientes templados y fríos, cuando la fecha de siembra se retrasa, los períodos críticos para la fijación y el llenado del grano están sujetos a un deterioro progresivo de las condiciones de crecimiento (menor temperatura y radiación incidente) que se traducen en bajas relaciones fuente/destino (Bonelli *et al.*, 2016). Estos cambios en el entorno del cultivo deberían afectar la estructura del grano (Cirilo *et al.*, 2011; Cerrudo *et al.*, 2017), la que podría afectar la degradación ruminal de almidón.

En vista de lo anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la fecha de siembra sobre:

- 1-
 - a) La degradabilidad efectiva del almidón.
 - b) Las características físicas del grano.
 - c) La relación fuente/destino del cultivo de maíz durante el período de llenado del grano.A su vez, se evaluó:
- 2- La correlación entre las características físicas del grano y:
 - a) La degradabilidad efectiva del almidón.
 - b) La relación fuente/destino del cultivo de maíz durante el periodo de llenado del grano.
- 3- La correlación entre la relación fuente/destino del cultivo de maíz durante el período de llenado del grano y la degradabilidad efectiva del almidón.

2- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Caracterización de la estructura y composición de los granos de maíz

El grano de maíz puede ser clasificado según la estructura y la composición del endosperma. Frecuentemente, el grano contiene tanto endosperma córneo como harinoso, ubicándose el endosperma córneo en la periferia del grano (Dombrink-Kurtzman y Bietz, 1993). Los cuerpos proteicos en el endosperma córneo son más grandes y numerosos que en el endosperma harinoso (Wolf *et al.*, 1967). A su vez, los gránulos de almidón son compactos y poligonales en el endosperma córneo, pero son esféricos y tienen espacio entre ellos en el endosperma harinoso (Robutti *et al.*, 1974).

El grano de maíz puede ser corto y redondo (pop corn o pisingallo), corto y plano con un final distal ovalado (flint), o largo y plano con un final distal hundido (dentado) (Caballero-Rothar *et al.*, 2018). En Argentina, la gran mayoría del área de producción está representada por híbridos dentados o semi-dentados (Brun y Dudley, 1989). Estos últimos híbridos se caracterizan por tener un endosperma de menor dureza y mayormente harinoso en comparación con los maíces flint. La proporción de endosperma córneo respecto al endosperma total determina el grado de vitrosidad de los granos (Philippeau y Michalet-Doreau, 1997); a mayor proporción de endosperma córneo, mayor es la vitrosidad del grano. Las proteínas de reserva del grano se comportan como una malla que incluye y soporta a los gránulos de almidón a medida que crecen dentro de las células endospermáticas durante el llenado del grano (Cirilo y Cerrudo, 2014). La porción córnea del endosperma del grano de maíz presenta mayor densidad y vitrosidad debido a un fuerte ligamento entre el almidón y su densa malla de proteínas de reserva, en cambio, en la fracción harinosa la malla proteica es menos densa y el ligamento es más débil (Cirilo y Cerrudo, 2014). La dureza del grano ha sido tradicionalmente correlacionada con proteínas específicas del endosperma, las prolaminas, también comúnmente llamadas zeínas (Pratt *et al.*, 1995; Robutti *et al.*, 1997; Fox y Manley, 2009). Estas prolaminas forman cuerpos proteicos esféricos que se aglomeran en una malla rígida que soporta los amiloplastos (Chandrashekar y Mazhar, 1999). En la periferia de los cuerpos proteicos se ubica la fracción de zeínas-2, favoreciendo la firmeza de la malla proteica, mientras que la fracción de zeínas-1 conforma el interior de los cuerpos proteicos aportando estabilidad mecánica a la menciona

ma (Mazhar y Chandrashekar, 1995). En genotipos de mayor dureza de endosperma Gerde *et al.* (2016) halló un mayor peso hectolitro, una mayor densidad y una alta relación de endosperma vítreo/harinoso del grano de maíz en comparación con genotipos de menor dureza de endosperma. A su vez, la dureza del grano resulta de la composición química y estructural del endosperma (Cirilo y Cerrudo, 2014). El endosperma córneo tiene una estructura más compacta y es más duro que el endosperma harinoso (Dillon, 2005). De Dios *et al.* (1990) y Dillon (2005) observaron que el peso hectolítico y la relación de molienda (cociente entre el peso de las fracciones gruesas y las finas después de someter el grano a un proceso estandarizado de molienda y tamizado, (Cerrudo, 2018)) estuvieron positivamente relacionados con la proporción de endosperma córneo. Cerrudo *et al.* (2017) también observaron mayor relación de molienda en maíces con mayores proporciones de endosperma córneo que harinoso. Por su parte, Mestres *et al.* (1991) observaron una fuerte correlación positiva entre vitrosidad y densidad del grano; la vitrosidad se podría predecir hasta en un 88% a partir de la densidad del grano. Así, una mayor proporción de endosperma córneo daría lugar a un grano más denso y vítreo como así también con mayor peso hectolítico y relación de molienda. Ante lo expuesto, las diferencias en las características físicas de los granos de maíz se podrían explicar a través de la estructura del endosperma.

El grano de maíz contiene un 72% de almidón, que se encuentra en el endosperma (Guada, 1993; Simón y Gerard, 2016). Los gránulos de almidón están compuestos por dos tipos de α -glucanos, amilosa y amilopectina, que representan aproximadamente el 98-99% del peso seco (Tester *et al.*, 2004). La proporción de los dos polisacáridos varía según el origen botánico del almidón. Los almidones "cerosos" contienen menos del 15% de amilosa, los "normales" 20–35% y los almidones "altos" aproximadamente el 40%. La amilosa es un α -glucano lineal relativamente largo que contiene alrededor del 99% de enlaces α - (1- 4) y difiere en tamaño y estructura dependiendo de la botánica de origen. En cambio, la amilopectina es una molécula mucho más grande que la amilosa con una gran estructura ramificada construida a partir de enlaces de aproximadamente 95% α - (1- 4) y 5% α - (1- 6) (Mua y Jackson, 1997; Buléon *et al.*, 1998). Además del almidón, el endosperma del grano se compone de proteínas (Martínez *et al.*, 2017), estando negativamente asociadas la proporción de almidón y proteína del grano de maíz (Seebauer *et al.*, 2009).

Según Robutti *et al.* (2000) la concentración de almidón no se correlaciona con el contenido de amilosa, y el endosperma córneo presenta un mayor contenido de amilosa que el endosperma harinoso. Para la alimentación animal, el endosperma duro es menos digerido por los animales (Rooney y Pflugfelder, 1986), por lo que se prefiere el endosperma blando. Los endospermas con una alta relación amilosa/almidón serían más compresibles y, por lo tanto, se volverían más densos y duros en la cosecha que los endospermas con una alta proporción de amilopectina (Dombrink-Kurtzman y Knutson, 1997). Por lo tanto, los granos con mayor contenido de amilosa serían menos degradables que los de menor contenido.

2.2. Caracterización de la degradabilidad ruminal y las propiedades fisicoquímicas del grano de maíz

Las propiedades fisicoquímicas de los diferentes híbridos de maíz se encuentran relacionadas con la degradación ruminal de la materia seca y del almidón según San Martín (2002), quien por su parte encontró que la reducción en las características físicas del grano se asoció con aumentos en los valores de degradabilidad ruminal del almidón del grano de maíz. La fracción proteica cumple un rol preponderante en la determinación de la dureza limitando la colonización microbiana de los gránulos de almidón (McAllister *et al.*, 1993). Así, la matriz proteica en el endosperma córneo es densa y más resistente a la digestión microbiana que la matriz del endosperma harinoso (Rooney y Pflugfelder, 1986; Philippeau y Michalet-Doreau, 1997).

Philippeau y Michalet-Doreau (1997) observaron que tanto la vitrosidad como la proporción de endosperma córneo se encuentran negativamente relacionados con la degradabilidad ruminal del almidón. Esto se reflejaría en una mayor fracción rápidamente degradable del almidón, y/o en una mayor tasa de degradación del almidón en genotipos de maíz menos vítreos (Philippeau *et al.*, 1999). Por su parte, Correa *et al.* (2002) reportaron que la densidad y la vitrosidad del grano se relacionaban de manera inversa con la degradación ruminal del almidón de maíz. La gran diferencia en la densidad entre los tipos dentados y flint podría explicarse por las diferencias en la cantidad de espacios vacíos dentro del endosperma y, en consecuencia, por la proporción de endosperma córneo/harinoso (Philippeau *et al.*, 1999).

2.3. Caracterización de la relación fuente/destino del cultivo

Las siembras tardías, disminuyen la tasa efectiva de llenado de granos y acortan la duración del periodo efectivo de llenado de granos, en comparación con las siembras tempranas (Cirilo y Andrade, 1996). Una disminución en la tasa efectiva de llenado del grano en siembras tardías coincidió con una baja tasa de crecimiento de la planta durante el período reproductivo, la cual a su vez fue ralentizada por menor radiación incidente luego del período de floración (Cirilo y Andrade, 1994; 1996). A su vez, menores temperaturas durante el llenado del grano en siembras tardías causaron menores tasas de llenado del grano (Cirilo y Andrade, 1996). Cuando se retrasa la fecha de siembra, la duración del periodo efectivo del llenado del grano se ve acortado debido a que el cultivo es expuesto a temperaturas más bajas en comparación a siembras tempranas (Cirilo y Andrade, 1996). Por su parte, Uhart y Andrade (1991) hallaron que un stress durante el período de llenado de granos generó una reducción en la fuente de asimilados, disminuyendo la duración de este período. De este modo, cuando la fecha de siembra se retrasa, respecto a la fecha óptima de mayor rendimiento, el período de llenado del grano está sujeto a un deterioro progresivo de las condiciones fototérmicas (radiación y temperatura) para el crecimiento del cultivo (Bonelli, 2013; Bonelli *et al.*, 2016). Esto conduce a que la tasa de crecimiento del cultivo disminuya hacia finales de la estación de crecimiento, generando una disminución en la relación fuente/destino del cultivo durante el período de llenado del grano (Bonelli, 2013; Bonelli *et al.*, 2016). Esta disminución en la relación fuente/destino durante este período generada por una menor oferta de radiación y temperatura para que el cultivo crezca y se desarrolle fueron asociadas con reducciones en las características físicas del grano de maíz tales como la relación de molienda y el peso hectolítrico (Cirilo *et al.*, 2011; Cerrudo *et al.*, 2017). Escasos trabajos han investigado la asociación entre el efecto del ambiente y la composición del grano de maíz (Cerrudo, 2018). Cirilo *et al.* (2011) encontró una asociación positiva entre la relación fuente/destino del cultivo durante el período de llenado del grano y la dureza del grano de maíz. Sin embargo, en un estudio reciente Cerrudo (2018) demostró encontrar una asociación negativa entre zeínas-2 y relación fuente/destino durante el período de llenado del grano. Esto evidencia que aún no se ha podido comprender cuál es el efecto que causa la disminución de la dureza de los granos al disminuir la relación fuente/destino del cultivo durante el período de llenado del grano (Cerrudo, 2018).

2.4. Consideraciones finales

Existen diferencias en degradación ruminal del almidón entre los diferentes genotipos de maíz (Philippeau *et al.*, 1998) y a su vez, estas diferencias están asociadas a características físicas de los granos (Correa *et al.*, 2002). De esta manera, la selección de genotipos de maíz con diferente estructura de endosperma genera una degradación ruminal del almidón diferenciada en la alimentación del ganado. Sin embargo, no hay evidencias de la potencial relación que se genera al modificar la fecha de siembra (y por lo tanto modificar la relación fuente/destino del cultivo durante el período de llenado del grano) entre los cambios de las características físicas y los cambios en la degradabilidad ruminal del almidón.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la fecha de siembra sobre: 1- a) la degradabilidad efectiva del almidón, b) las características físicas del grano y c) la relación fuente/destino del cultivo de maíz durante el período de llenado del grano. También se evaluó la correlación entre las características físicas del grano y: 2- a) la degradabilidad efectiva del almidón y b) la relación fuente/destino del cultivo de maíz durante el periodo de llenado del grano y: 3- la correlación entre la relación fuente/destino del cultivo de maíz durante el período de llenado del grano y la degradabilidad efectiva del almidón.

3- HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1. Hipótesis

- a- La relación fuente/destino del cultivo de maíz durante el período de llenado del grano disminuye con el atraso en la fecha de siembra.
- b- La vitrosidad, la densidad, la relación de molienda y el peso hectolítrico del grano de maíz disminuyen con el atraso en la fecha de siembra.
- c- La degradabilidad efectiva del almidón del grano de maíz aumenta con el atraso en la fecha de siembra.

3.2. Objetivo general

Generar un aporte al conocimiento de los efectos de la fecha de siembra sobre la degradabilidad efectiva del almidón del grano de maíz en bovinos y su correlación con cambios en la relación fuente/destino del cultivo de maíz durante el período de llenado del grano y en las características físicas del grano.

3.3. Objetivos específicos

- a- Cuantificar la degradabilidad efectiva *in situ* del almidón del grano de maíz obtenido con distintas fechas de siembra.
- b- Analizar la variación según la fecha de siembra en la relación fuente/destino del cultivo de maíz durante el período de llenado del grano y establecer una relación con las características físicas del grano.
- c- Analizar la variación en las características fisicoquímicas del grano de maíz según distintas fechas de siembra.
- d- Establecer la relación entre la degradabilidad efectiva *in situ* del almidón del grano de maíz y las características físicas del grano.

4- MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Lugar y tratamientos

Este estudio se realizó durante la temporada de crecimiento 2015-16 en la Estación Experimental INTA Balcarce, Argentina (37°45'S, 58°18'W) en un suelo Argiudol típico arcilloso fino con una profundidad efectiva mínima de 1.50 m (25.9% de arcilla; 40% de limo; 34% de arena), 5.6% de materia orgánica a una profundidad de 0-25 cm y con un contenido de fósforo extraíble de 32 ppm.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones conteniendo las parcelas. Se definieron ocho tratamientos en función de la fecha de siembra de un híbrido comercial de maíz semidentado (Dekalb 72-10 VT3P, el híbrido más sembrado en el país con una adaptación a toda el área maicera argentina): 13 de octubre; 4, 17 y 26 de noviembre; 3, 15 y 28 de diciembre y 5 de enero. Cada parcela fue de 4.16 m de ancho (ocho líneas de siembra separadas a 0.52 m) por 10 m de largo.

Las parcelas se sembraron manual e inmediatamente después de alcanzar la etapa fenológica del cultivo V2 (Ritchie *et al.*, 1989) se ralearon a una población de plantas uniforme (10 plantas m⁻²). El contenido de agua del suelo se mantuvo por encima de 65% del agua máxima disponible del suelo, mediante complementación de las precipitaciones con riego por aspersión. Para proporcionar una nutrición mineral adecuada, las parcelas se fertilizaron antes de sembrar con 30 kg de P ha⁻¹ (fosfato de diamonio). Además, se aplicó una mezcla de 50 kg de S ha⁻¹ (sulfato de calcio) y 400 kg de N ha⁻¹ (urea) dividida en partes iguales en emergencia, V5 y R1. Se asumió que el requerimiento de potasio estaba cubierto por la abundancia natural del mismo en los suelos ricos en illita, tales como aquel donde se realizó el experimento. Las malezas, los insectos y las enfermedades fueron controlados químicamente.

Cada parcela se cosechó de una semana a diez días después de alcanzar la madurez fisiológica del grano (i.e. capa negra). Una vez finalizada la cosecha, se tomó una muestra de 2 kg de granos de cada parcela para evaluar las características fisicoquímicas de los granos y la degradación ruminal de la materia seca (MS) y del almidón.

4.2. Mediciones y estimaciones

4.2.1. Relación fuente/destino del cultivo de maíz durante el período de llenado del grano

La relación fuente/destino durante el período de llenado de granos fue estimada para cada fecha de siembra. La "fuente" de asimilados durante el período de llenado de granos se determinó como el crecimiento potencial (i.e. máximo crecimiento que el cultivo podría alcanzar) del cultivo acumulado desde el final del período crítico de floración hasta la madurez fisiológica. El "destino" durante el período de llenado del grano se estimó como el crecimiento potencial del cultivo acumulado durante el período crítico de floración (Cerrudo *et al.*, 2013). La relación fuente/destino durante el período de llenado de granos se calculó de acuerdo con Cerrudo (2018):

$$\frac{\text{Fuente}}{\text{Destino}} = \frac{\text{Crecimiento potencial acumulado entre } 250^{\circ}\text{Cd desde floración y madurez fisiológica}}{\text{Crecimiento potencial acumulado entre } -200^{\circ}\text{Cd y } 250^{\circ}\text{Cd desde floración}}$$

La fuente durante el período de llenado de grano se obtuvo de la integración de la tasa de crecimiento del cultivo diaria (TCC) potencial durante el período efectivo de llenado de grano para cada fecha de siembra. El destino durante el período de llenado del grano se obtuvo de la integración de la TCC potencial durante el período crítico de floración para cada fecha de siembra.

La TCC se estimó de acuerdo con Monteith (1972) (ecuación 1), dependiendo de la radiación fotosintéticamente activa incidente diaria (PAR), la fracción de radiación interceptada (f_i) y la eficiencia de uso de la radiación potencial (RUE; gramos de materia seca sobre el suelo por megajoule de PAR interceptada). La PAR incidente diaria se obtuvo multiplicando la radiación solar por 0,48 (Monteith, 1972).

La temperatura máxima, la temperatura mínima y la PAR se obtuvieron a partir de los datos agrometeorológicos de la Estación Experimental Inta Balcarce.

$$TCC(g\ m^{-2}\ d^{-1}) = PAR \times f_i \times RUE \quad [\text{ec. 1}]$$

La RUE potencial se estimó en función de la temperatura media diaria (T Media; Andrade *et al.*, 1993) siguiendo la ecuación 2. Las estimaciones de RUE se limitaron al rango de 6,7 °C a 22,2 °C como límites de temperatura inferior y superior respectivamente, de acuerdo con el rango de temperatura utilizado en el modelo para el cultivo de maíz CERES-Maíz (López-Cedrón *et al.*, 2005). Por lo

tanto, para temperaturas medias diarias $\leq 6.7^\circ \text{C}$ o $\geq 22.2^\circ \text{C}$ se calcularon valores constantes de 0 y 4.2 g MJ^{-1} , respectivamente.

$$RUE(\text{g MJ}^{-1}) = 0.27 \times T_{\text{Media}} - 1.8 \quad [\text{ec.2}]$$

Las etapas fenológicas del cultivo se determinaron de acuerdo con Ritchie et al. (1989). La duración de las etapas fenológicas se expresó en unidades de tiempo térmico (grados días; $^\circ\text{C d}^{-1}$). El tiempo térmico (TT) se calculó de la siguiente manera (ecuación 3) y se acumuló a través de las etapas fenológicas:

$$TT (\text{ }^\circ\text{C d}^{-1}) = (T_{\text{max}} + T_{\text{min}}) / 2 - T_b \quad [\text{ec. 3}]$$

Los parámetros T_{max} y T_{min} son temperaturas máximas y mínimas diarias, respectivamente, y T_b es la temperatura base para el desarrollo ($T_b = 8^\circ\text{C}$).

4.2.2. Características físicas del grano

4.2.2.1. Vitrosidad

Se estableció una regresión lineal (usando 16 puntos, cubriendo un amplio rango de vitrosidad) entre la vitrosidad estimada manualmente según la técnica de Dombrink-Kurtzman y Bietz (1993) y la vitrosidad estimada según el Software Image J ($R^2 = 0.81$; $P < 0.0001$; ver Figura I apéndice). Para esto, la vitrosidad del grano se determinó utilizando el Software Image J. Con este software se cuantificó el área total del endosperma vítreo (EV), el área de endosperma harinoso (EH) y con ambas áreas se calculó la vitrosidad como $EV / (EV + EH) \times 100$. Para la estimación de la técnica manual los granos de maíz fueron embebidos en agua destilada. Seguido a esto se les quitó el germen y el pericarpio. Luego se secaron en estufa a 60°C hasta peso constante. Por último, los dos tipos de endosperma (harinoso y vítreo) fueron separados por disección manual con agujas y bisturí, secados nuevamente a 60°C hasta pesos constante y pesados ambos endospermas por separado. La vitrosidad se expresó como la proporción de endosperma vítreo que posee cada grano, con relación al peso total de los endospermas como fue indicado para la anterior técnica. De este modo, la vitrosidad estimada a partir de las imágenes fue relacionada con la estimada manualmente (Figura I apéndice). A partir de obtener una relación aceptable entre ambas técnicas, se decidió determinar la vitrosidad por imágenes haciendo que

esta determinación sea más rápida y ágil en comparación con la técnica manual. Para ello, veinte granos chatos de cada parcela fueron incrustados en agua corriente para favorecer la disección con un bisturí. Luego, los granos se cortaron sagitalmente (ver Figura II apéndice), se tomó una de las dos mitades al azar y se la fotografió. Las imágenes fueron procesadas determinando las superficies del endosperma vítreo y harinoso por separado calculando luego la vitrosidad como se detalló anteriormente para esta técnica.

4.2.2.2. Densidad

La densidad del grano se determinó mediante desplazamiento del solvente (tolueno) usando un picnómetro con una tapa removible que permitió la inclusión del grano entero. La tapa se ajustó para mantener un volumen interno constante. Se añadió tolueno al picnómetro y se registró el peso (PT). Luego, los granos previamente secados a 60 °C durante 48 hs y pesados (PG), se agregaron al picnómetro, registrando su peso (PTG). Se utilizó una balanza analítica de tres dígitos de precisión. La densidad del tolueno utilizada fue la correspondiente a la temperatura de trabajo. La densidad de los granos se calculó como:

Densidad de los granos (g cm^{-3}) = $\text{PG} / (\text{PT} - \text{PTG} + \text{PG}) * \text{Densidad del tolueno}$

4.2.2.3. Peso hectolítrico

El peso hectolítrico de los granos se determinó como indica la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos [SAGPyA], (Resolución N° 1075_1994; SENASA, 2020). Las muestras estabilizadas a humedad y temperatura ambiente se pesaron usando una balanza de Schopper de ¼ litro (Básculas Necco, Argentina). Los pesos se expresaron en kg hl^{-1} multiplicando el peso en gramos obtenido en la balanza mencionada por 0.4.

4.2.2.4. Dureza

La dureza del grano (relación de grano grueso a fino) se determinó según lo descrito por Pomeranz *et al.* (1986). Una muestra de 50 g de granos enteros de cada parcela se molió durante 15 s en un molino de laboratorio Stein (Seedboro Equipment Company). Los granos molidos se tamizaron a velocidad máxima durante 60 s en un tamiz mecánico (Chopin) equipado con tamices circulares de aberturas de malla de 1.0 y 0.5 mm. Se pesaron las cantidades de material grueso

retenido por el tamiz de 1.0 mm y de material fino que pasó a través del tamiz de 0.5 mm. La relación de grano grueso a fino se estimó como la relación de peso entre las fracciones gruesas y finas.

4.2.3. Degradación ruminal de la materia seca y del almidón del grano de maíz

Las mediciones de la degradación ruminal de la materia seca y del almidón se llevaron a cabo *in situ* utilizando un novillo Hereford de 515 kg de peso vivo, canulado de rumen. El novillo recibió 7,4 kg de materia seca de una dieta compuesta por 70% de heno de pastura, 30% de concentrado (grano de maíz partido) para cumplir con los requerimientos diarios de energía de mantenimiento según NRC (2000) y 60 g de urea (nitrógeno no proteico). La ración se entregó en partes iguales a las 08:00 y 17:00 h. El novillo se adaptó a la dieta durante dos semanas antes de que comenzara la incubación ruminal.

La degradación ruminal de la materia seca y del almidón fue determinada por la metodología de las bolsas de nylon suspendidas en el rumen para la evaluación de los alimentos según lo descrito por Orskov *et al.* (1980). Las muestras de grano de cada parcela se secaron a 60 °C durante 48 h, se molieron con un molino Thomas-Wiley para pasar a través de una malla de 2 mm y luego fueron incubadas en el rumen por un período de 0, 3, 6, 9, 15, 24, 48 y 72 h. En cada horario de incubación, dentro de una bolsa reticulada tipo cebollera, dos bolsas de nylon (ANKOM Technology, Macedon NY, EE. UU.; Tamaño de poro 53 µm; dimensiones internas, 10 x 20 cm) conteniendo 5 g de grano molido fueron incubadas por parcela. Una bolsa en blanco (bolsa vacía) fue también incubada para cada horario de incubación para tener en cuenta la contaminación microbiana de la materia seca. Todo el período de incubación ruminal fue repetido tres veces, es decir cada período de incubación comprendió un bloque (repetición) del ensayo de campo. Las bolsas asignadas a la 0 h de incubación ruminal fueron inmersas en un balde con agua a 39 °C por 15 minutos y luego se retiraron y se almacenaron a -20 °C. Inmediatamente después de la incubación ruminal, las bolsas fueron enjuagadas en agua corriente y almacenadas a -20 °C para detener la actividad microbiana. Luego, las bolsas fueron descongeladas a temperatura ambiente y lavadas, primero, usando una lavadora (MARSHALL, MTI 2005, Argentina) con 3 lavados sucesivos de 10 minutos, y luego a mano con agua corriente. Una vez que el proceso de lavado fue completado, las bolsas fueron secadas a 60 °C durante 48 h y pesadas para determinar la materia seca total en el residuo. El residuo de cada

bolsa fue molido para pasar por un tamiz de 1 mm usando un molino y almacenado hasta la determinación de su concentración de almidón.

Para describir el ambiente ruminal durante el periodo de incubación, el pH ruminal (medidor de pH digital provisto de electrodo ORP, DIGI-SENSE, USA) y la concentración de nitrógeno amoniacal (Chaney y Marbach, 1962) fueron medidos en cada horario de incubación extrayendo una muestra de líquido ruminal de diferentes partes del rumen.

La fracción rápidamente degradable de la materia seca y del almidón de los granos (**A**, % del total), la fracción lentamente degradable (**B**, % del total) y la tasa de degradación fraccional constante (**Kd**, % h⁻¹) fueron estimadas usando el software Graph Pad Prism 5 (2007) ajustando la materia seca residual y la concentración de almidón al modelo de regresión no lineal (ecuación 4) propuesto por Ørskov y McDonald (1979):

$$D = A + B (1 - e^{-Kd \cdot t}) \text{ [ec. 4]}$$

Dónde:

D = materia seca o almidón degradable al tiempo "t", %

t = tiempo de incubación ruminal, h

e = base de logaritmos natural (2.71828)

La degradabilidad efectiva de la materia seca y del almidón de los granos de maíz fueron estimadas con los parámetros obtenidos del estudio *in situ* (A, B y Kd) y la tasa de pasaje de partículas a través del rumen (Kp) (ecuación 5). Los cálculos fueron realizados usando una Kp de 6 % h⁻¹ según lo informado por Offner *et al.* (2004) para dietas altas en concentrados.

$$\text{Degradabilidad efectiva (DE)} = A + ((B * Kd) / (Kd + Kp)) \text{ [ec. 5]}$$

4.2.4. Características químicas del grano

Se analizó la concentración de almidón según el método enzimático Macrae y Armstrong (1968) antes y después de la incubación ruminal en muestras de grano y en la cantidad contenida (residuo) en las bolsas, respectivamente.

El porcentaje de proteína en las muestras de los granos se determinó por el método de Espectroscopia de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS) según lo descrito por Vásquez *et al.* (2004).

4.2.5. Análisis estadísticos

La densidad, vitrosidad, dureza, peso hectolítrico, proteína y almidón del grano, así como los parámetros A, B, Kd y DE de la materia seca y del almidón fueron analizadas mediante el uso del software estadístico R (2018) con un análisis de la varianza usando un modelo lineal simple que incluía fecha de siembra y bloque como efectos fijos (ecuación 6). Las medias de los tratamientos fueron comparadas usando una prueba de LSD cuando el efecto del tratamiento fue significativo. A través de correlaciones de Pearson se evaluó la correlación entre las características físicas del grano y: a) la degradabilidad efectiva del almidón y b) la relación fuente/destino del cultivo de maíz durante el periodo de llenado del grano, así como entre esta última y la degradabilidad efectiva del almidón. También se evaluaron las asociaciones de las características físicas del grano entre sí. Con el uso del software Graph Pad Prism 5 (2007), ecuaciones cuadráticas y lineales (según la significancia y el coeficiente de determinación) fueron ajustadas para explicar la relación entre la fuente, el destino y la relación fuente/destino con las fechas de siembra y para analizar la asociación entre la relación fuente/destino con las características físicas del grano. Para todos los análisis estadísticos, los efectos se consideraron significativos cuando $P < 0.05$.

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ijk} \quad [\text{ec. 6}]$$

Y_{ijk} = variable observada

μ = media general

τ_i = efecto de la i -ésima fecha de siembra $i = 1-8$

β_j = efecto del j -ésimo bloque $j = 1-3$

ε_{ijk} = error experimental

5- RESULTADOS

5.1. Relación fuente/destino del cultivo de maíz

La fuente, el destino y la relación fuente/destino del cultivo durante el período de llenado del grano fueron afectados por la fecha de siembra ($R^2 \geq 0.72$; $P < 0.01$; Figura 1). La fuente y la relación fuente/destino disminuyeron de manera cuadrática con el retraso en la fecha de siembra, mientras que el destino también lo hizo, pero en menor magnitud. Los valores más altos de fuente y destino fueron $1474 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y $1201 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, respectivamente; mientras que los menores valores fueron $277 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ y $1059 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, respectivamente. La relación fuente/destino durante el período de llenado del grano varió de 1.22 a 0.26 entre fechas de siembra.

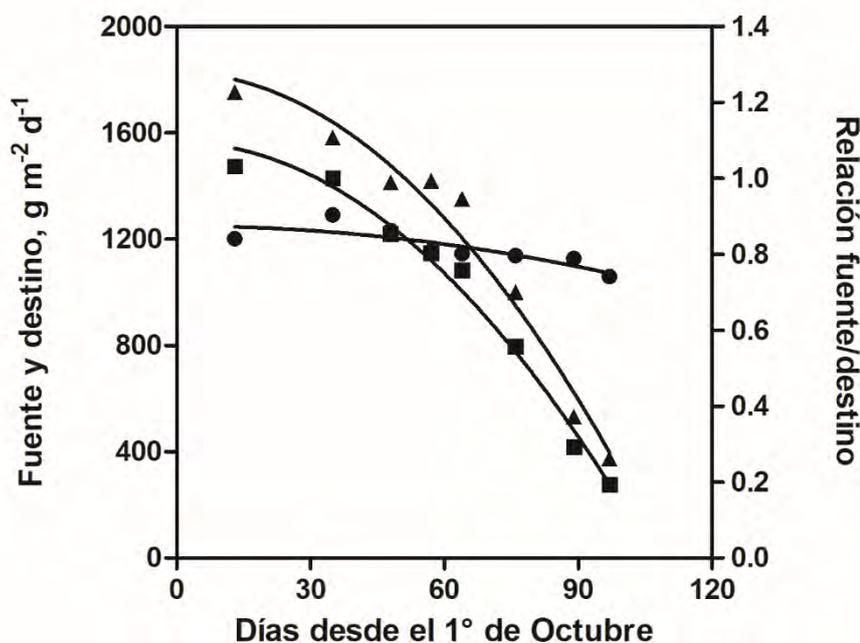


Figura 1. Fuente (cuadrados, ■), destino (círculos, ●) y relación fuente/destino (triángulos, ▲) de los cultivos de maíz, en función de los días de siembra a partir del 1 de octubre. Ecuaciones: Fuente, $y = -0.1368x^2 + 1565$ ($R^2 = 0.98$; $P < 0.0001$); Destino, $y = -0.01886x^2 + 1249$ ($R^2 = 0.72$; $P < 0.01$); Relación fuente/destino, $y = -0.0001062x^2 + 1.278$ ($R^2 = 0.97$; $P < 0.0001$).

5.2. Temperatura y radiación durante la estación de crecimiento 2015-16

En la figura 2 se muestra la evolución de la radiación ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) y la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) durante la estación de crecimiento 2015-16 del cultivo de maíz. La temperatura aumentó hasta los 152 días, en tanto que la radiación también lo hizo pero hasta los 92 días. Luego de alcanzar sus máximos valores, estas variables

comenzaron a disminuir conforme siguió avanzando la estación de crecimiento del cultivo.

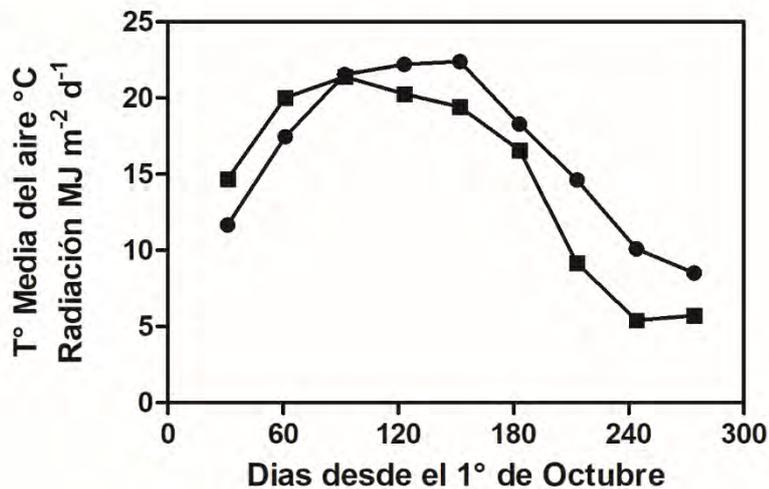


Figura 2. Temperatura (T°) media del aire ($^{\circ}\text{C}$) (●) y Radiación $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ (■) en función de los días desde el 1° de Octubre de 2015. Cada referencia dentro de la figura corresponde al promedio mensual.

5.3. Características fisicoquímicas del grano de maíz

Las cuatro características físicas del grano de maíz evaluadas (densidad del grano, vitrosidad del grano, dureza del grano y peso hectolítrico del grano) fueron afectadas por la fecha de siembra ($P < 0.001$; Tabla 1). La densidad del grano, la vitrosidad y la dureza disminuyeron cuando la fecha de siembra del cultivo se retrasó más allá del 17 de noviembre ($P < 0.001$), alcanzando los niveles más bajos en la última fecha de siembra evaluada (5 de enero). En tanto, el peso hectolítrico disminuyó cuando la fecha de siembra se retrasó más allá del 15 de diciembre, alcanzando su mínimo también en la última fecha de siembra (5 de enero). Si bien la concentración de almidón del grano no fue afectado por la fecha de siembra ($P = 0.056$), el porcentaje de proteína sí lo fue ($P = 0.007$). El porcentaje de proteína varió de 7.25 a 8.54% del contenido total de materia seca sin un patrón claro entre las fechas de siembra (Tabla 1). Las cuatro características físicas del grano de maíz estuvieron positivamente correlacionadas entre ellas ($r \geq 0.91$; $P < 0.0001$) y con la relación fuente/destino del cultivo durante el período de llenado del grano ($r \geq 0.89$; $P < 0.0001$). Esta última variable fue asociada de manera lineal con la dureza de los granos y de manera cuadrática con la densidad, vitrosidad y peso hectolítrico de los granos (Figura 3).

Tabla 1. Influencia de las fechas de siembra sobre las características fisicoquímicas del grano de maíz.

Fecha de siembra	Densidad (g cm ⁻³)	Vitrosidad (%)	Dureza	Peso hectolítrico (Kg hl ⁻¹)	Almidón (%)	Proteína (%)
13-Oct	1.29 ^{bc}	41.22 ^a	2.60 ^a	76.60 ^a	73.97	8.21 ^{ab}
4-Nov	1.30 ^{ab}	40.85 ^a	2.70 ^a	76.53 ^a	71.50	8.54 ^a
17-Nov	1.31 ^a	41.57 ^a	2.50 ^{ab}	74.93 ^a	69.63	8.54 ^a
26-Nov	1.27 ^{cd}	35.16 ^b	2.06 ^c	75.53 ^a	71.53	7.93 ^{ab}
3-Dic	1.26 ^d	34.14 ^b	2.20 ^{bc}	77.32 ^a	70.07	7.94 ^{ab}
15-Dic	1.26 ^d	29.35 ^c	2.16 ^c	74.73 ^a	76.00	8.02 ^{ab}
28-Dic	1.18 ^e	15.86 ^d	1.33 ^d	68.13 ^b	77.55	7.25 ^c
5-Ene	1.10 ^f	9.12 ^e	0.90 ^e	59.33 ^c	69.00	7.92 ^b
EEM ¹	0.01	2.40	0.14	1.25	1.20	0.11
P-valor	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.056	0.007

a, b, c, d, e, f Las medias con la misma letra no difieren ($\alpha = 0.05$). EEM¹, error estándar de la media.

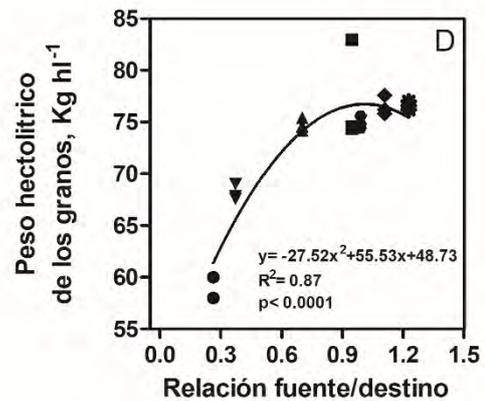
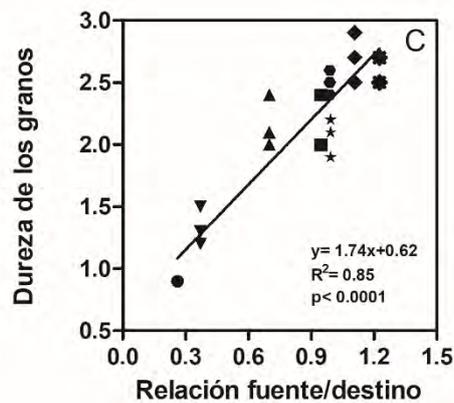
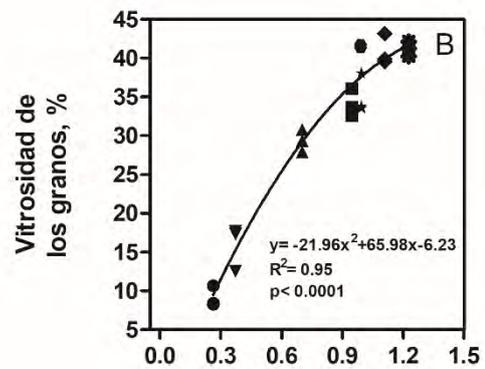
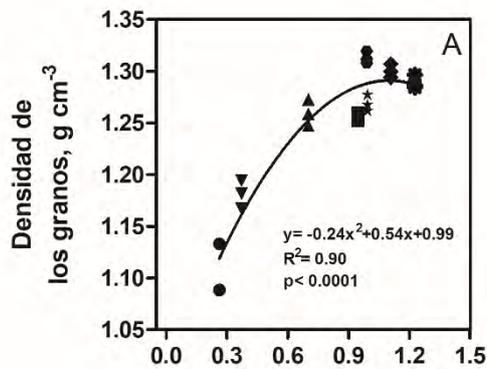


Figura 3. Densidad (A), vitrosidad (B), dureza (C) y peso hectolítrico (D) de los granos de maíz como una función de la relación fuente/destino establecida durante el periodo de llenado del grano. Cada símbolo corresponde a una replicación de cada fecha de siembra. Referencias de las fechas de siembra: 13-octubre (♣); 04 (◆), 17(●) y 26 de noviembre (★); 3 (■), 15 (▲) y 28 de diciembre (▼) y 5-enero (●).

5.4. Degradación ruminal de la materia seca y del almidón del grano de maíz

Los valores de pH ruminal y concentración de nitrógeno amoniacal promedio de los 3 eventos de incubación ruminal de las tres repeticiones, fueron en promedio de 6.69 ± 0.08 y 5.34 ± 0.66 mg/dl, respectivamente.

Las fracciones rápidas y lentamente degradables del contenido de la materia seca y del almidón del grano de maíz fueron afectadas por la fecha de siembra ($P < 0.05$; Tablas 2 y 3). Sin embargo, las tasas de degradación fraccional constante no fueron afectadas ($P > 0.06$). La fracción rápidamente degradable de la materia seca y del almidón alcanzaron los menores valores en la segunda y tercera fecha de siembra (4 y 17 de noviembre). La mayor fracción rápidamente degradable de la materia seca se observó en la última fecha de siembra evaluada (5 de enero), mientras que la del almidón se observó en las dos últimas fechas de siembra (28 de diciembre y 5 de enero). En contraste, las fracciones de la materia seca y del almidón lentamente degradables fueron más altas en el rango de fechas de siembra del 13 de octubre al 15 de diciembre, mientras que los valores más bajos se observaron en el 28 de diciembre y 5 de enero ($P < 0.05$; Tabla 2 y 3). La degradabilidad efectiva de la materia seca y del almidón estimada usando una tasa de pasaje del $6\% \text{ h}^{-1}$ fue afectada por la fecha de siembra del cultivo ($P < 0.01$; Tablas 2 y 3). La degradabilidad efectiva de la materia seca y del almidón fue mayor en el grano de la fechas de siembra 5 de enero, aunque en el caso del almidón, dicho valor no se diferenció del observado el 28 de diciembre y el 13 de octubre. Numéricamente, el menor valor de degradabilidad efectiva de la materia seca y del almidón se observó el 26 de noviembre para la materia seca y el 17 de noviembre para almidón.

Las características físicas del grano y la relación fuente/destino durante el período de llenado del grano del cultivo se correlacionaron negativamente con la fracción rápidamente degradable y, positivamente con la fracción lentamente degradable ($P < 0.001$; Tabla 4). No fueron observadas correlaciones con la tasa de degradación fraccional constante de la materia seca y del almidón ($P > 0.10$).

La degradabilidad efectiva de la materia seca y del almidón presentó correlaciones negativas moderadas con las características físicas del grano y con la relación fuente/destino (degradabilidad efectiva de la materia seca y relación

fuente/destino fue no significativa) durante el período de llenado del grano ($r = -0.43$ a -0.61 ; $P < 0.05$; Tabla 4).

Tabla 2. Influencia de las fechas de siembra sobre parámetros de la degradación ruminal *in situ* y la degradabilidad efectiva de la materia seca del grano de maíz.

Fecha de siembra	Fracción rápidamente degradable (g kg ⁻¹)	Fracción lentamente degradable (g kg ⁻¹)	Tasa de degradación fraccional constante (% h ⁻¹)	Degradabilidad efectiva de la MS (g kg ⁻¹)
13-Oct	310 ^{ef}	640 ^a	11	706 ^b
4-Nov	300 ^f	670 ^a	9	677 ^{bc}
17-Nov	300 ^f	670 ^a	7	649 ^{cd}
26-Nov	330 ^{de}	670 ^a	5	638 ^d
3-Dic	370 ^c	620 ^a	5	653 ^{cd}
15-Dic	340 ^{cd}	640 ^a	6	647 ^{cd}
28-Dic	430 ^b	540 ^b	6	702 ^b
5-Ene	480 ^a	480 ^c	9	768 ^a
ESM ¹	13	15	0.6	11
<i>P</i> -valor	< 0.001	< 0.001	0.069	< 0.001

a, b, c, d, e, f Las medias con la misma letra no difieren ($\alpha = 0.05$). ESM¹, error estándar de la media. Unidades: g Kg⁻¹ de materia seca consumida. Degradabilidad efectiva calculada con una tasa de pasaje de 6 % h⁻¹.

Tabla 3. Influencia de las fechas de siembra sobre parámetros de la degradación ruminal *in situ* y la degradabilidad efectiva del almidón del grano de maíz.

Fecha de siembra	Fracción rápidamente degradable (g kg ⁻¹)	Fracción lentamente degradable (g kg ⁻¹)	Tasa de degradación fraccional constante (% h ⁻¹)	Degradabilidad efectiva del almidón (g kg ⁻¹)
13-Oct	250 ^{bcd}	730 ^a	22	749 ^{ab}
4-Nov	230 ^{cd}	740 ^a	10	686 ^{bc}
17-Nov	200 ^d	750 ^a	10	631 ^c
26-Nov	270 ^{bcd}	700 ^{ab}	8	637 ^c
3-Dic	330 ^b	740 ^a	6	663 ^c
15-Dic	330 ^{bc}	640 ^{abc}	9	693 ^{bc}
28-Dic	430 ^a	580 ^{bc}	8	750 ^{ab}
5-Ene	460 ^a	540 ^c	13	801 ^a
ESM ¹	22	21	0.02	15
<i>P</i> -valor	< 0.001	0.045	0.464	< 0.01

a, b, c, d. Las medias con la misma letra no difieren ($\alpha = 0.05$).

ESM¹, error estándar de la media. Unidades: g Kg⁻¹ de almidón incubado. Degradabilidad efectiva calculada con una tasa de pasaje de 6 % h⁻¹.

Tabla 4. Correlaciones de Pearson entre las características físicas del grano de maíz, la relación fuente/destino, parámetros de la degradación ruminal *in situ* y la degradabilidad efectiva de la materia seca y del almidón.

Variable	Vitrosidad	Densidad	Peso hectolítrico	Dureza del grano	Relación fuente/destino
Materia seca					
A	-0.96***	-0.95***	-0.92***	-0.95***	-0.92***
B	0.87***	0.88***	0.87***	0.85***	0.82***
Kd	NS	NS	NS	NS	NS
DE	-0.50*	-0.58**	-0.61**	-0.47*	NS
Almidón					
A	-0.82***	-0.78***	-0.72***	-0.77***	-0.78***
B	0.76***	0.67***	0.66***	0.73***	0.71***
Kd	NS	NS	NS	NS	NS
DE	-0.54**	-0.56**	-0.55**	-0.48*	-0.43*

NS (no significativo); * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$.
 Degradación ruminal *in situ* de la materia seca y del almidón: A= fracción rápidamente degradable; B= fracción lentamente degradable; Kd= tasa de degradación fraccional constante; DE= Degradabilidad efectiva calculada con una tasa de pasaje de 6 % h⁻¹.

6- DISCUSIÓN

Maximizar la degradación ruminal del almidón de maíz es relevante para mejorar la eficiencia de la digestión de las dietas, especialmente aquellas con alto contenido de grano (Huntington *et al.*, 2006). Este estudio demostró, por primera vez, que una práctica de manejo de cultivos como la fecha de siembra podría ser un factor importante que influye sobre la degradación ruminal del almidón de maíz. Por lo tanto, la información generada en este trabajo complementa y amplía el conocimiento generado en estudios previos que se centraron en el efecto del genotipo de maíz sobre esta variable (Philippeau *et al.*, 1998, 1999; Correa *et al.*, 2002; Dillon, 2005). El efecto de la fecha de siembra sobre la degradabilidad efectiva del almidón en este estudio (Tabla 3) estuvo dentro del rango que se puede observar para genotipos contrastantes.

La degradabilidad efectiva del almidón se asoció con la variación en la relación fuente/destino durante el período de llenado del grano (Tabla 4). La reducción de la fuente vinculada al retraso de la fecha de siembra fue más que proporcional que la reducción del destino, con la consiguiente disminución de la relación fuente/destino durante el período de llenado del grano (Figura 1). Estos resultados están de acuerdo con los observados por Bonelli *et al.* (2016) para un ambiente fototérmico similar. La relación fuente/destino durante el período de llenado del grano fue asociada con las características físicas del grano (Figura 3), coincidiendo con lo observado por Cirilo *et al.* (2011) y Cerrudo *et al.* (2017). A su vez, la asociación encontrada entre las características físicas evaluadas y la degradabilidad efectiva del almidón al modificar la fecha de siembra está en consonancia con la asociación entre estas variables obtenida por Philippeau *et al.* (1999) al evaluar diferentes genotipos de maíz. Esta asociación también está de acuerdo con el incremento en la degradabilidad ruminal del almidón observada por Correa *et al.* (2002) cuando anticipó la cosecha del grano a la madurez fisiológica. Este anticipo de la cosecha es análogo a una reducción en la relación fuente/destino durante el período de llenado del grano (Bonelli *et al.*, 2016), la cual fue asociada con una disminución en las características físicas del grano de maíz, las que a su vez también fueron asociadas con el aumento de la degradabilidad ruminal del almidón. Por lo tanto, los resultados del presente trabajo indicarían que el efecto de la fecha de siembra sobre la degradabilidad efectiva del almidón estaría mediado por el efecto de la relación fuente/destino durante el período de llenado del grano sobre las

características físicas del grano. Cerrudo (2018) demostró que las zeínas-2 del grano de maíz se asociaron de manera negativa con la relación fuente/destino durante el período de llenado del grano. De esta manera, se desconoce al momento cuál es el mecanismo responsable de modificar la dureza del grano cuando se modifica el ambiente bajo el cual el cultivo crece y se desarrolla.

Los valores de pH y nitrógeno amoniacal registrados fueron adecuados y sin limitantes de nitrógeno amoniacal para un buen crecimiento bacteriano, lo cual indica un adecuado ambiente para el desarrollo de la degradabilidad ruminal (Satter y Slyter, 1974). El incremento de la degradabilidad efectiva de la materia seca y del almidón al retrasar la fecha de siembra estuvo asociada con la concomitante reducción de la proporción del endosperma córneo. La matriz proteica que contiene los gránulos de almidón en el endosperma córneo de los granos de maíz es densa y más resistente a la digestión microbiana que la del endosperma harinoso (Rooney y Pflugfelder, 1986; McAllister *et al.*, 1993; Philippeau y Michalet-Doreau, 1997). Los incrementos observados en la degradabilidad efectiva de la materia seca y del almidón fueron asociados con los incrementos de la fracción rápidamente degradable de la materia seca y del almidón ($r \geq 0.52$; $P < 0.05$) al retrasar la fecha de siembra; estas variables a su vez se asociaron a una disminución en las características físicas del grano (Tabla 4). Estos resultados estuvieron de acuerdo con los presentados por Philippeau *et al.* (1999), quienes además observaron que el aumento en la fracción rápidamente degradable de la materia seca y del almidón fue asociado con diferencias en la proporción de partículas de almidón solubilizadas de los diferentes tipos de endosperma. Sin embargo, se observó que las fechas de siembra 13 de octubre y 4 de noviembre presentaron altos valores de degradabilidad efectiva de la materia seca y del almidón y bajos valores en sus fracciones rápidamente degradables (Tablas 2 y 3). Otro factor (por ejemplo sanitario) asociado a las fracciones de la materia seca y almidón lentamente degradables podría estar involucrado en esta respuesta.

Retrasos en la fecha de siembra, llevó al cultivo a tener condiciones de crecimiento distintas durante el llenado del grano. De esta manera, se sometió al cultivo a menores niveles de radiación y temperatura durante este periodo, en comparación con una siembra temprana (Figura 2). Estos cambios en las condiciones de crecimiento del cultivo por la fecha de siembra podrían explicar los cambios observados en la degradabilidad efectiva de la materia seca y del almidón, lo cual podría tener un efecto sobre la ganancia de peso del ganado y la eficiencia

de conversión del alimento. Dillon (2005) evaluó el efecto de maíces con diferentes degradabilidades efectivas de la materia seca generada por variación génica sobre la ganancia diaria de peso y la eficiencia de conversión. En su trabajo, observó que similares diferencias a las obtenidas en el presente trabajo en cuanto a degradabilidad efectiva de la materia seca, generaron una variación del 9% en el aumento diario de peso y de 7% en la eficiencia de conversión (Dillon, 2005)

El presente trabajo pone en evidencia que, al igual que lo observado con distintos genotipos, modificar la fecha de siembra modifica las características físicas del grano, las que se encuentran asociadas con las degradabilidades efectivas de la fracción almidonosa y la materia seca. Este trabajo evidencia además que estas variables están asociadas a la relación fuente/destino, la cual se ve afectada por cambios en la fecha de siembra. Si bien otros factores pueden afectar la relación fuente/destino durante el período de llenado del grano, se desconoce si estos afectan de igual manera la degradabilidad efectiva del maíz.

7- CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en el presente trabajo se pudo concluir que:

- 1- La relación fuente/destino del cultivo de maíz durante el período de llenado del grano disminuye con el atraso en la fecha de siembra.
- 2- La vitrosidad, la densidad, la relación de molienda y el peso hectolítrico del grano de maíz disminuyen con el atraso en la fecha de siembra. La disminución en estas variables se asocia a variaciones en la relación fuente/destino del cultivo de maíz durante el período de llenado del grano.
- 3- La degradabilidad efectiva del almidón del grano de maíz aumenta con el atraso en la fecha de siembra. Este aumento se asocia a disminuciones en la vitrosidad, la densidad, la relación de molienda y el peso hectolítrico de los granos de maíz.
- 4- El presente trabajo explora un abanico amplio de fechas de siembra las cuales fueron probadas bajo riego, con un solo híbrido de maíz, durante un año solo y en una sola localidad. Este diseño experimental deberá tenerse en cuenta si se desea extrapolar resultados a distintos ambientes de producción de maíz.

8- BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, F. H.; Uhart, S.A. ; Cirilo, A. 1993. Temperature affects radiation use efficiency in maize. *Field Crops Research*. 32(1-2):17-25. DOI: [10.1016/0378-4290\(93\)90018-1](https://doi.org/10.1016/0378-4290(93)90018-1)
- Bonelli, L. 2013. Rendimiento potencial de maíz en Balcarce en función de la fecha de siembra y la duración del ciclo del híbrido. Tesis *Magister Scientiae*. Balcarce, Argentina: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata: 100 p.
- Bonelli, L. E.; Monzon, J. P.; Cerrudo, A.; Rizalli, R. H.; Andrade, F. H. 2016. Maize grain yield components and source-sink relationship as affected by the delay in sowing date. *Field Crops Research*. 198:215-225. DOI: [10.1016/j.fcr.2016.09.003](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.09.003)
- Brun, E. L.; Dudley, J. W. 1989. Breeding potential in the USA and Argentina of corn populations containing different proportions of flint and dent germplasm. *Crop science*. 29(3):570-577. DOI: [10.2135/cropsci1989.0011183X002900030004x](https://doi.org/10.2135/cropsci1989.0011183X002900030004x)
- Buléon, A.; Colonna, P.; Planchot, V.; ball, S. 1998. Starch granules: structure and biosynthesis. *International journal of biological macromolecules*. 23(2):85-112. DOI: [10.1016/S0141-8130\(98\)00040-3](https://doi.org/10.1016/S0141-8130(98)00040-3)
- Caballero-Rothar, N. N.; Borrás, L.; Gerde, J. A. 2018. Bases bioquímicas de la dureza del grano de maíz. En: Borrás, L. (ed.) *Manejo de maíz flint*. Rosario, Argentina: Facultad de Ciencias Agrarias, pp. 31-45.
- Cerrudo, A. 2018. Incidencia del ambiente y el tipo de híbrido en la composición y la dureza del grano de maíz. Tesis *Doctoral*. Balcarce, Argentina: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata: 87 p.
- Cerrudo, A.; Di Matteo, J.; Fernandez, E.; Robles, M.; Pico, L. O.; Andrade, F. H. 2013. Yield components of maize as affected by short shading periods and thinning. *Crop and Pasture Science*. 64(6):580-587. DOI: [10.1071/CP13201](https://doi.org/10.1071/CP13201)
- Cerrudo, A.; Martínez, D.; Izquierdo, N. G.; Cirilo, A. G.; Laserna, M. P.; Reinoso, L.; Andrade, F. H. 2017. Environment, management, and genetic contributions to maize kernel hardness and grain yield. *Crop Science*. 57(5):2788-2798. DOI: [10.2135/cropsci2016.12.0997](https://doi.org/10.2135/cropsci2016.12.0997)
- Chaney, A. L.; Marbach, E. P. 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical chemistry*. 8(2):130-132. DOI: [10.1093/clinchem/8.2.130](https://doi.org/10.1093/clinchem/8.2.130)
- Chandrashekar, A.; Mazhar, H. 1999. The Biochemical Basis and Implications of Grain Strength in Sorghum and Maize. *J. Cereal Sci*. 30(3):193–207. DOI: [10.1006/jcrs.1999.0264](https://doi.org/10.1006/jcrs.1999.0264).
- Cirilo, A.G.; Andrade, F. H. 1994. Sowing date and maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning. *Crop Science*. 34(4):1039-1043. DOI: [10.2135/cropsci1994.0011183X003400040037x](https://doi.org/10.2135/cropsci1994.0011183X003400040037x)

- Cirilo, A.G.; Andrade, F.H. 1996. Sowing date and kernel weight in maize. *Crop Science*. 36(2):325–331. DOI: [10.2135/cropsci1996.0011183X003600020019x](https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600020019x)
- Cirilo, A.; Cerrudo, A. 2014. Calidad en maíz flint: Importancia de la nutrición nitrogenada del cultivo. En: Borrás, L. (ed.) *Manejo eficiente del nitrógeno en maíces flint*. Rosario, Argentina: Facultad de Ciencias Agrarias, pp.49-59.
- Cirilo, A.G.; Actis, M.; Andrade, F. H.; Valentinuz, O. R. 2011. Crop management affects dry-milling quality of flint maize kernels. *Field Crops Research*. 122(2):140-150. DOI: [10.1016/j.fcr.2011.03.007](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.03.007)
- Correa, C. E. S.; Shaver, R. D.; Pereira, M. N.; Lauer, J. G.; Kohn, K. 2002. Relationship between corn vitreousness and ruminal in situ starch degradability. *Journal of Dairy Science*. 85(11):3008-3012. DOI: [10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74386-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74386-5)
- Dombrink-Kurtzman, M. A.; Bietz, J. A. 1993. Zein composition in hard and soft endosperm of maize. *Cereal Chemistry*. 70(1):105-108. Recuperado de <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/25448>
- Dombrink-Kurtzman, M. A.; Knutson, C. A. 1997. A study of maize endosperm hardness in relation to amylose content and susceptibility to damage. *Cereal Chemistry*. 74(6):776-780. DOI: [10.1094/CCHEM.1997.74.6.776](https://doi.org/10.1094/CCHEM.1997.74.6.776)
- Dowswell, C.; Paliwal, R.L.; Cantrell, R.P. 2019. Maize in the world economy. *Utilization of Maize*. In: *Maize in the third world*. CRC Press, pp.1-16.
- De Dios, A.C.; Piug, R.C.; Robutti, J. L. 1990. Caracterización de la calidad del maíz argentino. Pergamino, Argentina: INTA. EEA Pergamino. Informe Técnico N° 241.12 p.
- Dillon, A. 2005. Utilización del grano de maíz en la alimentación de vacunos. Efectos del genotipo y método de procesamiento sobre la digestión y la ganancia de peso de novillos. Tesis *Doctoral*. Buenos Aires, Argentina: Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad de Buenos Aires: 95 p.
- Fox, G.; Manley, M. 2009. Hardness methods for testing maize kernels. *Journal of Agricultural Food and Chemistry* 57:5647–5657. DOI: [10.1021/jf900623w](https://doi.org/10.1021/jf900623w)
- Gerde, J. A.; Tamagno, S.; Di Paola, J. C.; Borrás, L. 2016. Genotype and nitrogen effects over maize kernel hardness and endosperm zein profiles. *Crop Science*, 56(3), 1225-1233. DOI: [10.2135/cropsci2015.08.0526](https://doi.org/10.2135/cropsci2015.08.0526)
- Guada, J. A. 1993. Efectos del procesado sobre la degradabilidad ruminal de proteína y almidón. IX Curso de especialización FEDNA. Barcelona, España. pp. 31-44.
- Graph Pad Prims 5. 2007. Version 5.01 for Windows, Graph Pad Software, San Diego, California, USA.
- Huntington, G. B.; Harmon, D. L.; Richards, C. J. 2006. Sites, rates, and limits of starch digestion and glucose metabolism in growing cattle. *Journal of Animal Science*. 84(13):E14-E24. DOI: [10.2527/2006.8413_supplE14x](https://doi.org/10.2527/2006.8413_supplE14x)

- López-Cedrón, F. X.; Boote, K. J.; Ruíz-Nogueira, B.; Sau, F. 2005. Testing CERES-Maize versions to estimate maize production in a cool environment. *European Journal of Agronomy*. 23(1):89-102. DOI: [10.1016/j.eja.2005.01.001](https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.01.001)
- Macrae, J.C.; Armstrong, D.G. 1968. Enzyme method for determination of alpha-linked glucose polymers in biological materials. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 19(10):578-581. DOI: [10.1002/jsfa.2740191006](https://doi.org/10.1002/jsfa.2740191006)
- Mazhar, H.; Chandrashekar, A. 1995. Quantification and distribution of kafirins in the kernels of sorghum cultivars varying in endosperm hardness. *Journal of Cereal Science* 21(2): 155–162. DOI: [10.1016/0733-5210\(95\)90031-4](https://doi.org/10.1016/0733-5210(95)90031-4).
- McAllister, T. A.; Phillippe, R. C.; Rode, L. M.; Cheng, K.J. 1993. Effects of the protein matrix on the digestion of cereal grains by ruminal microorganisms. *Journal of Animal Science*. 71(1):205-212. DOI: [10.2527/1993.711205x](https://doi.org/10.2527/1993.711205x)
- Maddonni, G.A. 2012. Analysis of the climatic constraints to maize production in the current agricultural region of Argentina—a probabilistic approach. *Theoretical and Applied Climatology*. 107(3-4):325-345. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-011-0478-9>
- Martínez, R. D.; Cirilo, A. G.; Cerrudo, A.; Andrade, F. H.; Reinoso, L.; Valentinuz, O. R... Izquierdo, N. G. 2017. Changes of starch composition by postflowering environmental conditions in kernels of maize hybrids with different endosperm hardness. *European Journal of Agronomy*. 86:71–77. DOI: [10.1016/j.eja.2017.04.001](https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.04.001)
- Mestres, C.; Louis-Alexandre, A.; Matencio, F.; Lahlou, A. 1991. Dry-milling properties of maize. *Cereal Chemistry*. 68(1):51-56. Recuperado de: http://online.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1991/Documents/68_51.pdf
- Monteith, J.L. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology*. 9(3):747–766. DOI: [10.2307/2401901](https://doi.org/10.2307/2401901)
- Mua, J. P.; Jackson, D. S. 1997. Fine structure of corn amylose and amylopectin fractions with various molecular weights. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 45(10):3840-3847. DOI: [10.1021/jf960877a](https://doi.org/10.1021/jf960877a)
- National Research Council (NRC). 2000. *Nutrient Requirements of Beef Cattle*. 7th ed. rev. Washington, DC: The National Academy Press. 248 p.
- Offner, A.; Sauvant, D. 2004. Prediction of in vivo starch digestion in cattle from in situ data. *Animal Feed Science and Technology*. 111(1-4):41-56. DOI: [10.1016/S0377-8401\(03\)00216-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(03)00216-5)
- Ørskov, E. R.; McDonald, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*. 92(2):499-503. DOI: [10.1017/S0021859600063048](https://doi.org/10.1017/S0021859600063048)

- Orskov, E. R.; Hovell, F.D.; Mould, F. 1980. The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Tropical Animal Production*. 5(3):195-213.
- Owens, F.N.; Zinn, R. A.; Kim, Y. K. 1986. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *Journal of Animal Science*. 63(5):1634-1648. DOI: [10.2527/jas1986.6351634x](https://doi.org/10.2527/jas1986.6351634x)
- Philippeau, C.; Michalet-Doreau, B. 1997. Influence of genotype and stage of maturity of maize on rate of ruminal starch degradation. *Animal Feed Science and Technology*. 68(1-2):25-35. DOI: [10.1016/S0377-8401\(97\)00042-4](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(97)00042-4)
- Philippeau, C.; Landry, J.; Michalet-Doreau, B. 1998. Influence of the biochemical and physical characteristics of the maize grain on ruminal starch degradation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46(10):4287-4291. DOI: [10.1021/jf971039z](https://doi.org/10.1021/jf971039z)
- Philippeau, C.; Le Deschault De Monredon, F.; Michalet-Doreau, B. 1999. Relationship between ruminal starch degradation and the physical characteristics of corn grain. *Journal of Animal Science*. 77(1):238-243. DOI: [10.2527/1999.771238x](https://doi.org/10.2527/1999.771238x)
- Pomeranz, Y.; Hall, G.E.; Czuchajowska, Z.; Lai, F.S. 1986. Test weight, hardness and breakage susceptibility of yellow dent corn hybrids. *Cereal Chemistry*. 63(4):349-351.
- Pratt, R.C., J.W. Paulis, K. Miller, T. Nelsen, and J.A. Bietz. 1995. Association of zein classes with maize kernel hardness. *Cereal Chemistry*. 72:162–167. Recuperado de <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/24959>
- Ranum, P.; Peña-Rosas, J. P.; Garcia-Casal, M. N. 2014. Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1312(1):105-112. DOI: [10.1111/nyas.12396](https://doi.org/10.1111/nyas.12396)
- Resolucion SAGyP N° 1075 (12 de diciembre de 1994). Secretaria de Agricultura, Ganaderia, Pesca y Alimentos. SENASA. Recuperado de: <http://www.senasa.gob.ar/normativas/resolucion-1075-1994-sagpya-secretaria-de-agricultura-ganaderia-pesca-y-alimentos>
- Ritchie, S.W.; Hanway, J.J.; Benson, G.O. 1989. How a Corn Plant Develops. Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service. Special Report no. 48. 21p.
- Robutti, J. L.; Hosney, R. C.; Wassom, C. E. 1974. Modified opaque-2 corn endosperm. II. Structure viewed with a scanning electron microscope. *Cereal Chemistry*. 51:179-180.
- Robutti, J.L.; Borrás, F.S.; Eyhéabide, G.H. 1997. Zein compositions of mechanically separated coarse and fine portions of maize kernels. *Cereal Chemistry*. 74:75–78. DOI: [10.1094/CCHEM.1997.74.1.75](https://doi.org/10.1094/CCHEM.1997.74.1.75)

- Robutti, J.; Borrás, F.; Ferrer, M.; Percibaldi, M.; Knutson, C. A. 2000. Evaluation of quality factors in Argentine maize races. *Cereal Chemistry*. 77(1):24-26. DOI: [10.1094/CCHEM.2000.77.1.24](https://doi.org/10.1094/CCHEM.2000.77.1.24)
- Rooney, L. W.; Pflugfelder, R. L. 1986. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *Journal of Animal Science*. 63(5):1607-1623. DOI: [10.2527/jas1986.6351607x](https://doi.org/10.2527/jas1986.6351607x)
- San Martín, M. 2002. Propiedades físicas y digestión ruminal de los granos de diferentes híbridos de maíz en bovinos. Tesis *Magister Scientiae*. Balcarce, Argentina: Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata: 84 p.
- Satter, L. D.; L. L. Slyter. 1974. Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro. *British Journal of Nutrition*. 32(2):199-208. DOI: [10.1079/BJN19740073](https://doi.org/10.1079/BJN19740073)
- Seebauer, J. R.; Singletary, G.W.; Krumpelman, P.M.; Ruffo, M. L.; Below, F.E. 2009. Relationship of source and sink in determining kernel composition of maize. *Journal of Experimental Botany*. 61(2):511-519. DOI: [10.1093/jxb/erp324](https://doi.org/10.1093/jxb/erp324)
- Simón, M.R.; Gerard G.S. 2016. Maíz: Usos y comercialización. En: Simón, M.R.; Golik, S.I. (eds.) *Cereales de verano*. La Plata, Argentina: Facultad de Ciencias Agrarias y forestales, pp. 177:190.
- Software Image J 1.52G. *Image Processing and Analysis in Java*. Recuperado de: <https://imagej.nih.gov/ij/>
- Software R. 2018. *A Programming Environment for Data Analysis and Graphics Version 3.5.1* (2018-07-02).
- Svihus, B.; Uhlen, A. K.; Harstad, O. M. 2005. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. *Animal Feed Science and Technology*. 122(3-4):303-320. DOI: [10.1016/j.anifeedsci.2005.02.025](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.02.025)
- Tester, R. F.; Karkalas, J.; Qi, X. 2004. Starch—composition, fine structure and architecture. *Journal of Cereal Science*. 39(2):151-165. DOI: [10.1016/j.jcs.2003.12.001](https://doi.org/10.1016/j.jcs.2003.12.001)
- Uhart, S. A.; Andrade, F. H. 1991. Source-sink relationships in maize grown in a cool-temperate area. *Agronomie, EDP Sciences*. 11(10):863-875. Recuperado de: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00885339/document>
- Vásquez, D. R.; Abadía, B.; Arreaza, L. C. 2004. Aplicación de la Espectroscopia de Reflectancia en el Infrarrojo Cercano (NIRS) para la caracterización nutricional del pasto Guinea y del grano de maíz. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*. 5(1):49-55. DOI: [10.21930/rcta.vol5_num1_art:24](https://doi.org/10.21930/rcta.vol5_num1_art:24)
- Wolf, M. J.; Khoo, U.; Seckinger, H. L. 1967. Subcellular structure of endosperm protein in high-lysine and normal corn. *Science*. 157(3788):556-557. DOI: [10.1126/science.157.3788.556](https://doi.org/10.1126/science.157.3788.556)

9- APÉNDICE

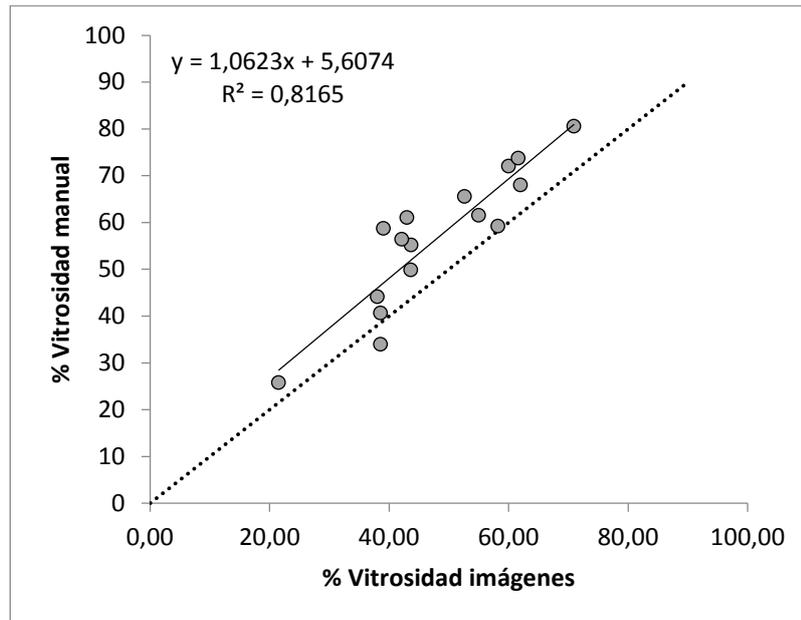


Figura I. Regresión lineal entre la técnica por imágenes usando el software Image J y la propuesta por Dombrink-Kurtzman y Bietz (1993).



Figura II. Corte sagital de los granos de maíz.