

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA

ENSILAJES DE MAÍZ Y SORGO, QUE DICEN LOS ANÁLISIS  
SIETE AÑOS DEL CONCURSO DE PROLESA

por

Camila Luciana MUÑIZ MARTÍNEZ

TESIS presentada como uno de  
los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2021

Tesis aprobada por:

Director:

-----  
Ing. Agr. Ana Bianco

-----  
Ing. Agr. Rafael Vidal

-----  
Ing. Agr. Alejandro Mendoza

Fecha: 28 de diciembre de 2021

Autora:

-----  
Camila Muñiz

## AGRADECIMIENTOS

A mis Padres, mis hermanos, mi novio y mis amigos, los de toda la vida y los que conocí en facultad, pilares fundamentales en este camino, gracias por confiar en mí en todo momento, gracias por el apoyo constante y por estar ahí siempre. Gracias por formar parte de este hermoso trayecto, sin duda volvería a elegir esta carrera una y mil veces más.

A la Facultad de Agronomía de la UdelaR por ser mi casa de estudios, al personal del Laboratorio Agrifirm por brindarme la información necesaria para llevar adelante esta tesis, a mis tutores Ing. Agr. Ana Bianco e Ing. Agr. Rafael Vidal, al Ing. Agr. Víctor Prieto por su orientación en la parte de estadística.

Al personal de Biblioteca de Facultad de Agronomía, en especial a la Lic. Sully Toledo, muchas gracias.

## TABLA DE CONTENIDO

|  | Página |
|--|--------|
| PÁGINA DE APROBACIÓN.....  | II     |
| AGRADECIMIENTOS.....   | III    |
| LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....  | VI     |
| <br>   |        |
| 1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....   | 1      |
| 2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....   | 3      |
| 2.1. ENSILAJES DE MAÍZ Y SORGO EN EL URUGUAY.....  | 3      |
| 2.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MAÍZ.....   | 5      |
| 2.2.1 <u>Desarrollo de la planta y ciclo de cultivo</u> .....                                  | 5      |
| 2.2.2. <u>Requerimientos climáticos para el maíz</u> .....                                     | 6      |
| 2.2.2.1. Producción mundial de maíz y clima.....   | 6      |
| 2.2.2.2. El factor temperatura en el maíz.....   | 6      |
| 2.2.2.3. Requerimientos hídricos.....  | 8      |
| 2.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES PARA EL SORGO.....  | 9      |
| 2.3.1. <u>Desarrollo de la planta y ciclo de cultivo</u> .....                                 | 9      |
| 2.3.2. <u>Factores que afectan el rendimiento</u> .....  | 10     |
| 2.3.2.1. Densidad de siembra.....  | 10     |
| 2.3.2.2. Época de siembra.....   | 11     |
| 2.3.2.3. Momento de cosecha.....   | 11     |
| 2.3.2.4. Tamaño de picado.....   | 11     |
| 2.3.2.5. Humedad del suelo y temperatura.....  | 11     |
| 2.4. FACTORES QUE HACEN VARIAR LA COMPOSICIÓN QUÍMICA<br>DE LOS ENSILAJES DE MAÍZ Y SORGO..... | 12     |
| 2.4.1. <u>Indicadores de calidad nutritiva</u> .....   | 12     |
| 2.4.1.1. pH.....   | 13     |
| 2.4.1.2. Materia seca.....   | 14     |
| 2.4.1.3. Proteína bruta.....   | 14     |
| 2.4.1.4. Fibra detergente neutra (FDN).....  | 15     |
| 2.4.1.5. Fibra detergente ácida (FDA).....   | 16     |
| 2.4.1.6. Cenizas.....  | 16     |
| 2.4.1.7. Almidón.....  | 16     |
| 2.4.2. <u>Indicadores de calidad para ensilaje de maíz</u> .....                               | 17     |
| 2.4.3. <u>Indicadores de calidad para el ensilaje de sorgo</u> .....                           | 17     |
| 2.5. ELECCIÓN DE LA ESPECIE A ENSILAR.....   | 17     |
| <br>   |        |
| 3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....   | 20     |

|  |    |
|--|----|
| 3.1. BASE DE DATOS.....  | 20 |
| 3.1.1. <u>Variables de la base de datos</u> .....  | 20 |
| 3.1.2. <u>Parámetros de calidad</u> .....  | 21 |
| 3.2. TÉCNICAS UTILIZADAS .....   | 22 |
| 4. <u>RESULTADOS Y DICUSIÓN</u> .....  | 23 |
| 4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA BASE DE DATOS .....  | 23 |
| 4.1.1 <u>Cultivares presentes en la base de datos</u> .....  | 23 |
| 4.1.2. <u>Composición química de los ensilajes de sorgo y maíz</u> .....   | 23 |
| 4.1.3. <u>Variación del contenido de PC entre años</u> .....   | 25 |
| 4.2. ANÁLISIS DESCRIPTIVO .....  | 27 |
| 4.2.1. <u>Descripción de variables numéricas y su representación gráfica</u> .....   | 27 |
| 4.2.1.1. Resultados de composición química para los ensilajes<br>de maíz y sorgo en su conjunto e individuales (2013-2019) ..... | 27 |
| 4.2.2. <u>Análisis de componentes principales (PCA)</u> .....  | 35 |
| 4.2.2.1. Sorgo.....  | 37 |
| 4.2.2.2. Maíz.....   | 39 |
| 4.2.3. <u>Formación de grupos</u> .....  | 41 |
| 4.2.3.1 Sorgo.....   | 41 |
| 4.2.3.2. Maíz.....   | 43 |
| 5. <u>CONCLUSIONES</u> .....   | 46 |
| 6. <u>RESUMEN</u> .....  | 47 |
| 7. <u>SUMMARY</u> .....  | 48 |
| 8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....   | 49 |
| 9. <u>ANEXOS</u> .....   | 58 |

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

| Cuadro No.   | Página |
|--|--------|
| 1. Estadios reproductivos y vegetativos de una planta de maíz .....  | 6      |
| 2. Contenido de proteína cruda (PC%) en gramíneas templadas y tropicales en distintos estados de crecimiento (% materia seca) .....              | 15     |
| 3. Composición química de los ensilajes de maíz del concurso y los publicados por referencias FEDNA y RNC. Resultados expresados como %MS .....  | 24     |
| 4. Composición química de los ensilajes de sorgo del concurso y los publicados por referencias FEDNA y RNC. Resultados expresados como %MS ..... | 25     |
| 5. Porcentaje de proteína cruda para los ensilajes de maíz y sorgo en el periodo estudiado .....   | 25     |
| 6. Composición química de los ensilajes de maíz y sorgo en su conjunto (en %MS) .....  | 27     |
| 7. Resultados de los agrupamientos según las medias similares de la composición química para ensilaje de sorgo .....                             | 42     |
| 8. Resultados de los agrupamientos según las medias similares de la composición química para ensilaje de maíz .....                              | 44     |
| Figura No.   |        |
| 1. Influencia de la temperatura media y de la amplitud térmica diaria sobre la tasa de crecimiento de maíz .....                                 | 7      |
| 2. Etapas del crecimiento y desarrollo del sorgo .....   | 10     |
| 3. Valores promedios anual de proteína bruta para los ensilajes de maíz y sorgo .....  | 28     |

|  |    |
|--|----|
| 4. Valores promedios de proteína bruta según especie (2013-2019) .....   | 28 |
| 5. Valores promedios anual de FDN para los ensilajes de maíz y sorgo .....   | 29 |
| 6. Valores promedios de FDN para el período 2013-2019 según especie .....  | 29 |
| 7. Valores promedios anual de FDA para los ensilajes de maíz y sorgo.....  | 30 |
| 8. Valores promedios de FDA para el período 2013-2019 según especie .....  | 30 |
| 9. Valores promedios anual de MS para los ensilajes de maíz y sorgo.....   | 31 |
| 10. Valores promedios de MS para el período 2013-2019 según especie .....  | 31 |
| 11. Valores promedios anual de pH para los ensilajes de maíz y sorgo .....   | 32 |
| 12. Valores promedios de pH para el período 2013-2019 según especie .....  | 33 |
| 13. Valores promedios anual de cenizas para los ensilajes de maíz y sorgo .....                                      | 33 |
| 14. Valores promedios de cenizas para el período 2013-2019 según especie .....                                       | 34 |
| 15. Valores promedios anual de almidón para los ensilajes de maíz .....  | 34 |
| 16. Análisis de componentes principales para ensilaje de maíz y ensilaje de sorgo.....                               | 36 |
| 17. Diferencias entre especies .....   | 36 |
| 18. Relación entre las diferentes variables de composición química para los ensilajes de sorgo expresadas en % ..... | 37 |

|  |    |
|--|----|
| 19. Elipses de confianza para la variable “año”<br>en los ensilajes de sorgo .....                                     | 38 |
| 20. Elipses de confianza para la variable " zona”<br>en los ensilajes de sorgo .....                                   | 38 |
| 21. Relación entre las diferentes variables de composición química<br>para los ensilajes de maíz expresadas en % ..... | 39 |
| 22. Elipses de confianza, para la variable "año"<br>en los ensilajes de maíz .....                                     | 40 |
| 23. Elipses de confianza para la variable "zona"<br>en los ensilajes de maíz .....                                     | 40 |
| 24. Análisis de clúster para sorgo .....   | 41 |
| 25. Agrupamiento para sorgo .....  | 43 |
| 26. Número de clúster para maíz .....  | 44 |
| 27. Número de grupos para maíz .....   | 45 |



## 1. INTRODUCCIÓN

La producción lechera del Uruguay se da básicamente bajo sistemas pastoriles, existiendo períodos durante el año en los que no se logra abastecer la demanda de los animales con la oferta de pasto presente, por lo cual muchos productores recurren a la producción de reservas forrajeras. En el Uruguay, las reservas más utilizadas son las de ensilajes de maíz y ensilajes de sorgo.

El proceso de ensilaje consiste en el almacenamiento de forraje verde bajo condiciones anaeróbicas, que permite que los microorganismos presentes fermenten los carbohidratos de las plantas a ácidos orgánicos, reduciendo el pH dentro de la masa de ensilaje e inhibiendo la fermentación posterior y de esa forma preservar el cultivo como ensilaje.

Desde el año 2013 a la actualidad, se realiza un concurso de reservas forrajeras producidas a partir de sorgo y maíz organizado por las empresas Prolesa, Nutral y CONAPROLE. Desde el año 2017 Nutral cambio de firma y paso a ser Agrifirm, quien hasta la actualidad sigue formando parte de los concursos. Éste se creó en primera instancia para hacer un relevamiento de la calidad de los ensilajes de todos los tambos de Uruguay que remitían leche a CONAPROLE, luego la idea fue poder generar buenas prácticas de ensilaje con la información recaudada.

Se habla de calidad en las reservas forrajeras como el ensilaje, ya que está muy relacionado con el componente animal, porque brinda una dieta rica en energía que permite un potencial de producción alto cuando se quiere producir un poco más, este alimento no solo permite cubrir los requerimientos si no que muchas veces dependiendo del momento en el que se brinda mejora la producción individual y por ende la total.

El uso de maíz para forraje, ya sea como planta en pie o ensilado es una práctica común en todos los países de agricultura avanzada, ya que contribuye a resolver el problema que plantea la estacionalidad de la producción forrajera frente a requerimientos animales de relativa constancia. Se adapta para la conservación y posterior alimentación del ganado.

El ensilaje de maíz se usa como fuente de energía y su bajo contenido proteico puede ser corregido con alimentos ricos en proteína o en parte con el agregado de urea a la ración.

En cuanto al sorgo, es un integrante importante para la producción en el Uruguay, su utilización puede ser como grano y/o como forraje para alimento animal. Es un material que presenta condiciones de plasticidad y rusticidad permitiendo sortear dificultades como lo son las deficiencias hídricas ocurridas en verano. Si bien hay

mucha información en cuanto a la producción de maíz y sorgo a nivel nacional, no se encuentra información sobre calidad de los mismos en la realización de reservas forrajeras.

Con la base de datos obtenida, la cual contiene datos de siete años de concursos, se fijó como objetivo: identificar las relaciones entre calidad de ensilaje de maíz y sorgo según las variables año, genotipos, zona y composición química.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. ENSILAJES DE MAÍZ Y SORGO EN EL URUGUAY

La realización de reservas forrajeras, es una práctica generalizada en el Uruguay a fin de asegurar una alta y estable producción de materia seca en los establecimientos lecheros y ganaderos. La siembra de cultivos estivales para tal fin, incluye en la mayoría de los sistemas de producción, a especies gramíneas tales como el maíz y el sorgo.

El ensilaje es una técnica de preservación de forraje que se logra por medio de una fermentación láctica espontánea bajo condiciones anaeróbicas. Las bacterias epifíticas de ácido láctico (BAC) fermentan los carbohidratos hidrosolubles (CHS) del forraje produciendo ácido láctico y en menor cantidad, ácido acético. Al generarse estos ácidos, el pH del material ensilado baja a un nivel que inhibe la presencia de microorganismos que inducen la putrefacción. Una vez que el material fresco ha sido almacenado, compactado y cubierto para excluir el aire, el proceso del ensilaje se puede dividir en cuatro etapas (Weinberg y Muck, 1996).

Fase 1 - Fase aeróbica. En esta fase que dura sólo pocas horas, el oxígeno atmosférico presente en la masa vegetal disminuye rápidamente debido a la respiración de los materiales vegetales y a los microorganismos aeróbicos y aeróbicos facultativos como las levaduras y las enterobacterias. Además, hay una actividad importante de varias enzimas vegetales, como las proteasas y las carbohidrasas, siempre que el pH se mantenga en el rango normal para el jugo del forraje fresco (pH 6,5-6,0).

Fase 2 - Fase de fermentación. Esta fase comienza al producirse un ambiente anaeróbico. Dura de varios días hasta varias semanas, dependiendo de las características del material ensilado y de las condiciones en el momento del ensilaje. Si la fermentación se desarrolla con éxito, la actividad BAC proliferará y se convertirá en la población predominante. A causa de la producción de ácido láctico y otros ácidos, el pH bajará a valores entre 3,8 a 5,0 (Honig y Woolford, 1980).

Fase 3 - Fase estable. Mientras se mantenga el ambiente anaeróbico, ocurren pocos cambios. La mayoría de los microorganismos de la Fase 2 lentamente reducen su presencia. Algunos microorganismos acidófilos sobreviven este período en estado inactivo; otros, como clostridios y bacilos, sobreviven como esporas. Sólo algunas proteasas y carbohidrasas, y microorganismos especializados, como *Lactobacillus buchneri* que toleran ambientes ácidos, continúan activos, pero a menor ritmo (Honig y Woolford, 1980).

Fase 4 - Fase de deterioro aeróbico. Esta fase comienza con la apertura del silo y la exposición del ensilaje al aire. Esto es inevitable cuando se requiere extraer y distribuir el ensilaje, pero puede ocurrir antes de iniciar la utilización del material ensilado cuando se producen daños en la cobertura del silo (por ejemplo, roedores, peludos y pájaros). El período de deterioro puede dividirse en dos etapas. La primera se debe al inicio de la degradación de los ácidos orgánicos que conservan el ensilaje, por acción de levaduras y ocasionalmente por bacterias que producen ácido acético. Esto induce un aumento en el valor del pH, lo que permite el inicio de la segunda etapa de deterioro; en ella se constata un aumento de la temperatura y la actividad de microorganismos que deterioran el ensilaje, como algunos bacilos. La última etapa también incluye la actividad de otros microorganismos aeróbicos -también facultativos- como mohos y enterobacterias (Honig y Woolford, 1980).

El deterioro aeróbico ocurre en casi todos los ensilajes al ser abiertos y expuestos al aire. Sin embargo, la tasa de deterioro depende de la concentración y de la actividad de los organismos que causan este deterioro en el ensilaje. Las pérdidas por deterioro oscilan entre 1,5 y 4,5 por ciento de materia seca diarias. Estas pérdidas son similares a las que pueden ocurrir en silos herméticamente cerrados y durante períodos de almacenaje de varios meses (Honig y Woolford, 1980).

Algo importante a tener en cuenta en la conservación de forraje es *“la calidad del forraje conservado (silo, heno, henilaje) nunca será superior a la del material que le dio origen”* (McDonald, 1981). La calidad de las reservas o forraje conservados, está definida desde un punto de vista nutricional, básicamente por la producción animal que permiten lograr.

La calidad del ensilaje depende de una serie de factores que pueden cambiar su extensión y patrones de fermentación. Jobim y Nussio (2007) propusieron que los efectos principales son aquellos que están influenciados por las características del cultivo ensilado. A pesar de los factores inherentes al cultivo, es importante asegurarse de que el ensilado esté debidamente sellado, evitando pérdidas de compuestos solubles y el desarrollo de hongos responsables de la producción de micotoxinas.

Uno de los objetivos principales por lo que se confeccionan las reservas forrajeras, es el de transferir los excedentes generados en una estación hacia épocas del año donde la oferta es menor, y así permitir el mantenimiento de una alta carga animal a lo largo del año.

## 2.2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MAÍZ

El maíz es uno de los granos alimenticios que más se conoce. Pertenece a la familia Poacea (Gramíneas), tribu Maydea, y es la única especie cultivada de este género; se cultiva a los 50° latitud Norte en Canadá y Rusia y a los 40° latitud Sur en Argentina y Chile (Paliwal, 2001).

El maíz es una planta de metabolismo C4, esta ruta metabólica forma parte de la evolución de las plantas para evitar la fotorespiración, es una adaptación de las plantas para obtener una mayor eficiencia en el uso del agua, además es muy eficiente en la producción de biomasa superando ampliamente a otros cultivos como el girasol, la soja o el trigo (Andrade et al., 1996).

El maíz (*Zea mays*) es uno de los cereales de mayor importancia económica y social, ya que constituye la base alimenticia de la población mundial. En el año 2010 se produjeron más de 844 millones de toneladas de maíz en el mundo, superando al trigo y al arroz y siendo, por tanto, el cereal con mayor volumen de producción. En América Latina ha sido el sustento alimenticio por miles de años, pero en virtud de su versatilidad de uso, tanto para la industria como para la producción agropecuaria, es cultivado en un amplio rango de condiciones en todo el mundo.

La utilización del maíz para silo se ha incrementado mucho en las últimas décadas, principalmente gracias a sus buenas características de valor nutritivo y calidad para ensilado. En consecuencia, se han dirigido esfuerzos a una búsqueda de cultivares adaptados a este propósito (Medina et al., 2001).

### 2.2.1 Desarrollo de la planta y ciclo de cultivo

El desarrollo del cultivo consiste en una sucesión obligatoria de etapas o fases dadas en un orden riguroso e irreversible, correspondiendo a la iniciación de órganos nuevos. Se le llama ciclo de desarrollo al conjunto de fases que van desde la germinación de la semilla, hasta la floración y formación del fruto. Este ciclo comprende dos etapas bien definidas: desarrollo vegetativo y desarrollo reproductivo.

El sistema para clasificación de etapas o estadios utilizado por la Universidad de Iowa (Iowa State University of Science and Technology) divide al desarrollo de la planta en vegetativo y reproductivo. Las subdivisiones del estadio vegetativo (V) son designadas como V1, hasta V(n), siendo (n) la última hoja antes del panojamiento (VT) para el cultivar considerado, mientras que las subdivisiones del estadio reproductivo se representan de la R1 a las R6 alcanzando en esta última la madurez fisiológica (Ritchie et al., 1986). Las divisiones de los estados vegetativos y reproductivos están designadas en el cuadro No. 1.

Cuadro No. 1. Estadios reproductivos y vegetativos de una planta de maíz

| ESTADIO VEGETATIVO                 | ESTADIO REPRODUCTIVO   |
|------------------------------------|------------------------|
| VE emergencia                      | R1 floración           |
| V1 primera hoja con cuello visible | R2 ampolla             |
| V2 segunda hoja                    | R3 grano lechoso       |
| V3 tercera hoja                    | R4 grano pastoreo      |
| V (n) n hoja                       | R5 grano dentado       |
| VT panojamiento                    | R6 madurez fisiológica |

Fuente: adaptado de Ritchie et al. (1986).

### 2.2.2. Requerimientos climáticos para el maíz

El maíz debido a sus tipos ampliamente divergentes crece en un amplio rango de condiciones climáticas, no pudiéndose establecer límites precisos. Es cultivado en áreas tropicales, subtropicales y templadas y en altitudes que van desde el nivel del mar hasta varios miles de metros sobre el mismo, pero presenta un límite, producto de una combinación de temperaturas bajas con el período libre de heladas (Shaw, 1988).

#### 2.2.2.1. Producción mundial de maíz y clima

La mayor proporción de maíz es producido en latitudes entre 30° a 55°. Prácticamente no se produce maíz en áreas en las que la temperatura promedio a mitad del verano es menor a 19°C o donde la temperatura media nocturna durante los meses de verano es menor a 13°C. La mayor producción ocurre donde las isotermas de los meses más cálidos están en el rango de 21 a 27°C y la estación libre de heladas es de 120 a 180 días (Shaw, 1988).

La tasa de crecimiento del cultivo está positivamente asociada con la cantidad diaria de radiación interceptada (Fischer y Palmer, 1984). De forma similar, la biomasa total acumulada hasta madurez fisiológica está relacionada con la radiación total interceptada (Andrade et al., 1991).

#### 2.2.2.2. El factor temperatura en el maíz

El desarrollo del maíz depende directamente de la temperatura en la medida en que no se modifique la evolución fisiológica de las plantas por efectos de la ocurrencia de valores muy bajos o muy altos de aquélla, o cambios en el fotoperíodo. Ha sido determinado que las condiciones más favorables para la obtención de rendimientos elevados en el cultivo de maíz se dan en climas con alta radiación solar y temperaturas

elevadas, pero no extremadamente cálidos, con una prolongada estación de crecimiento y con temperaturas diurnas entre 20 y 28° C (Santibáñez y Fuenzalida, 1992).

Cuando se acumulan días con temperaturas máximas superiores a 28° C, el período de llenado de granos se acorta y por consiguiente el rendimiento disminuye. El crecimiento máximo del maíz cabe esperarse en ambientes que producen temperaturas foliares entre 30 y 33° C durante el día (la fotosíntesis y la tasa de desarrollo del cultivo alcanzan sus valores máximos entre estos valores), pero con noches frescas. Es decir, en lugares con una menor aptitud térmica diaria, el crecimiento total resultará menor (Peters et al. 1971, Bronwer et al., Duncan y Hesketh, citados por Shaw 1988, Andrade 1992).

Temperaturas medias entre 23 a 24° C han sido consideradas como límite máximo (Wallace y Bressman, Kiesselbach, citados por Shaw, 1988), a partir del cual los rendimientos comienzan a disminuir por cada grado de incremento (cuando el mismo no está acompañado por aumento de las lluvias). Como se logra apreciar en la figura No. 1.

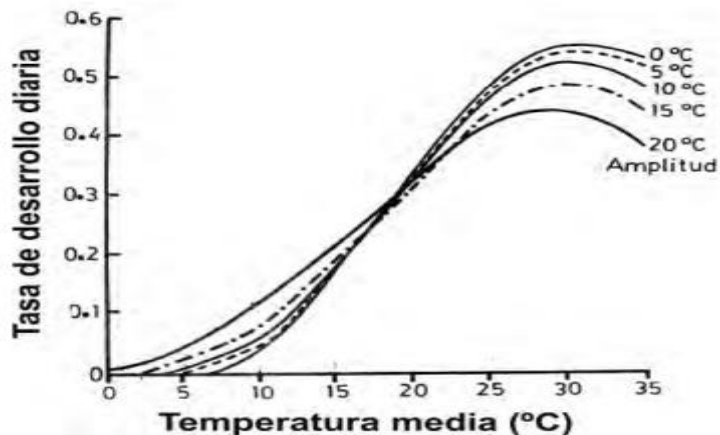


Figura No. 1. Influencia de la temperatura media y de la amplitud térmica diaria sobre la tasa de crecimiento de maíz

Fuente: Bonhomme (1985).

El efecto de las temperaturas sobre los rendimientos del maíz en ensayos de 18 situaciones diferentes situadas en la Argentina, Australia, Chile, Francia, India, México y U.S.A. (Andrade, 1992), reveló que la disminución de la temperatura mínima media de 24 a 8° C aumentó significativamente el rendimiento del maíz.

### 2.2.2.3. Requerimientos hídricos

La sequía es el principal estrés ambiental que causa pérdidas en la productividad agrícola a nivel mundial (Araus et al. 2010, Adebayo et al. 2014, Daryanto et al. 2016, Fahad et al. 2017).

El maíz es un cultivo de elevado potencial en producción de grano y es altamente sensible a las deficiencias ambientales. La disponibilidad hídrica es la principal limitante del ambiente que presenta Uruguay para el desarrollo de maíz, debido a la baja capacidad de almacenamiento de agua de los suelos, las elevadas demandas atmosféricas y la irregularidad de las precipitaciones (Giménez, 2012).

Debido a los efectos nocivos causados por la sequía en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, el fitomejoramiento se ha utilizado como una herramienta poderosa para reducir la vulnerabilidad de los cultivos (Challinor et al., 2016).

La principal limitante ambiental del Uruguay para la producción de cultivos de verano es la disponibilidad hídrica (Sawchik y Ceretta, 2005), debido a la escasa capacidad de almacenamiento de agua de los suelos (Molfino y Califra, 2001), a las demandas atmosféricas elevadas del verano y a la irregularidad de las precipitaciones, que generalmente, no cubren las necesidades de los cultivos.

En maíz las deficiencias hídricas causan efectos diferenciales en el rendimiento de acuerdo a la intensidad y etapa del ciclo en que se produzcan (Claassen y Shaw, 1970).

La sequía provoca alteraciones fisiológicas y bioquímicas en las plantas, que reducen la expansión de las hojas y las actividades metabólicas celulares. Esto, a su vez, conduce al cierre de estomas y reducciones en la tasa de asimilación fotosintética de CO<sub>2</sub>, lo que provoca cambios en la partición de carbono en toda la planta y, por lo tanto, una menor productividad del cultivo.

Boerger (1928) señaló que la cosecha de maíz depende casi exclusivamente del factor agua, fundamentalmente de las precipitaciones desde octubre a febrero, siendo las de enero las más importantes.

De León (1969) encontró una correlación positiva de los rendimientos de maíz a nivel de producción con la lluvia en el mes de enero. La disponibilidad de agua en el suelo para este cultivo es el factor ambiental más importante.

La imbibición es un proceso esencial en la germinación de la semilla. El proceso de la extracción de agua del suelo está determinado principalmente por el gradiente de potencial hídrico y por el área de contacto semilla/suelo. La mayor



emergencia de maíz fue determinada cuando el suelo tenía un contenido inicial de agua de 25% y cuando la cama de siembra era más fina (Braunack, 1995).

Los impactos de la sequía en la productividad de los cultivos también pueden variar según el nivel de sensibilidad, intensidad y duración del genotipo de estrés y la etapa de desarrollo de la planta cuando ocurre el estrés (Cairns et al., 2013). En particular, la etapa crítica de la sequía en el maíz se extiende desde la floración hasta el llenado del grano.

Un déficit hídrico en cualquier momento del crecimiento del cultivo puede reducir el rendimiento. Sin embargo, una sequía severa y altas temperaturas durante el empanojado son más perjudiciales, y si solamente es posible un riego, su aplicación en este estadio es el que ofrece el máximo retorno. Un estrés hídrico temprano durante estadios vegetativos, puede provocar plantas más pequeñas, pero no reduce tanto el rendimiento como un estrés durante los estadios reproductivos o de llenado de grano (Pendelton, 1979).

El impacto que puede tener una sequía sobre el cultivo es la resultante de la interacción entre los efectos que provoca esa deficiencia hídrica a diferentes escalas de la planta, y los mecanismos de resistencia que están en juego (Guevara y Cartaya, 1991).

### 2.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES PARA EL SORGO

El sorgo es una gramínea de origen tropical que ha sido adaptada, a través del mejoramiento genético, a una gran diversidad de ambientes, siendo considerado uno de los cultivos mundiales de seguridad alimentaria. Presenta un metabolismo C4, adaptado al uso eficiente del agua, al igual que el maíz. Es por ello que en Argentina se adapta muy bien a la región pampeana de clima templado (Carrasco et al., 2011).

Por otro lado, son muy variados sus posibles usos para la alimentación ganadera, pudiendo ser utilizado como verdeo de verano bajo pastoreo directo, diferido, como reservas en forma de silo de grano húmedo y de planta entera o como concentrado (Carrasco et al., 2011).

#### 2.3.1. Desarrollo de la planta y ciclo de cultivo

La semilla de sorgo es la más pequeña de los cultivos de cosecha gruesa, por lo tanto, su crecimiento inicial será más lento que el del maíz o la soja. De hecho, el crecimiento no es muy rápido hasta los 15 cm de altura, cuando la planta ya tiene establecido el sistema de raíces y comienza a absorber los nutrientes más rápidamente (Carrasco et al., 2011).

El ciclo de desarrollo del sorgo se divide en dos estadios, un estadio vegetativo y otro reproductivo, el vegetativo comienza en el estadio 0 donde se da la emergencia del cultivo, seguido por un estadio 1 donde se ven tres hojas desarrolladas, después un estadio 2 donde hay cinco hojas desarrolladas, seguido por un estadio 3 donde se da la diferenciación del ápice de crecimiento y termina con el estadio 4 donde esta visible la hoja bandera. Luego pasa al estadio reproductivo el cual está conformado por cinco estadios, el 5 estado de bota, el 6 donde hay 50% de la floración, el 7 grano pastoso, el 8 grano duro y 9 madurez fisiológica (como se logra ver en la figura No. 2)

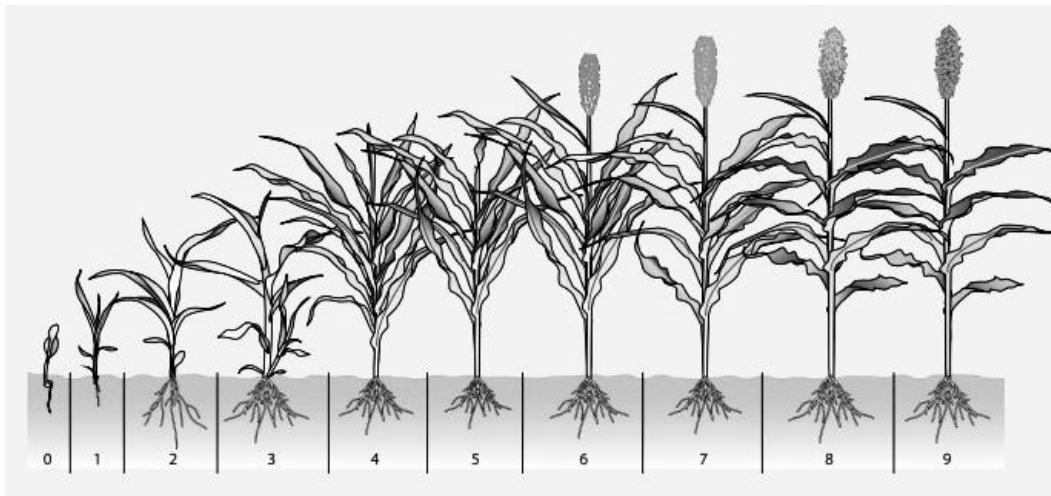


Figura No. 2. Etapas del crecimiento y desarrollo del sorgo

Fuente: Vanderlip y Reeves (1972).

### 2.3.2. Factores que afectan el rendimiento

#### 2.3.2.1. Densidad de siembra

Labella (1976) demostró en base a un ensayo realizado en Tacuarembó, sin variar la distancia entre hileras, observó respuestas en el rendimiento al aumento de la población hasta 420.000 pl./ha.

Antelo y Mermot (1988) demostraron que existe una asociación directa entre densidad y rendimiento de grano independientemente del efecto de otros factores de producción, con una densidad de 140.000 pl./ha, Se obtuvo un rendimiento de grano de 5.500 kg/ha, mientras que con 240.000 pl./ha, el rendimiento fue de 7.200 kg/ha. Por encima de las 210.000 pl./ha el rendimiento siguió en aumento al incremento de densidad, pero de una forma no tan marcada, probablemente por encima de 210.000 plantas comienzan a incidir con mayor peso en la determinación del rendimiento otros factores como el agua, fertilidad, distancia entre hileras, entre otros.

El cultivo de sorgo “bmr” responde mejor a bajas densidades por dos razones, por un lado, le permite flexibilidad a la planta y los tallos son más gruesos permitiendo un mejor mantenimiento de la panoja.

La recomendación de densidades de siembra para este tipo de sorgo por parte de técnicos y empresas que comercializan estos híbridos, son de 150.000 plantas por ha (Cota y Peregalli, 2006).

#### 2.3.2.2. Época de siembra

La temperatura del suelo para que germine correctamente deberá ser mayor a 18° C. Teniendo en cuenta la temperatura en años normales la fecha aconsejable es a partir de mediados de noviembre. La fecha límite en sorgo de segunda debería ser no más del 15 de diciembre, debido a que, con temperaturas menores a los 16° C en floración, provoca aborto de flores. Heladas tempranas pueden afectar al cultivo que esté en grano lechoso, produciendo la muerte de las plantas y problemas de hongos (cornezuelo causado por *Claviceps africana*).

#### 2.3.2.3. Momento de cosecha

El cultivo debe ser cosechado y almacenado en el silo lo más rápido posible. Un llenado prolongado puede resultar en una excesiva respiración y, por lo tanto, incrementar las pérdidas del ensilaje. El lento descenso del pH de una masa ensilada con exceso de humedad, favorece la formación de microorganismos no deseados, como las bacterias formadoras de ácido butírico, *Clostridium* y otras (Zamora et al., 2010).

#### 2.3.2.4. Tamaño de picado

El tamaño del picado del material cosechado es un factor importante para la conservación del mismo, debido a que un picado más chico facilita la disponibilidad de carbohidratos para la acción de los microorganismos fermentativos. Adicionalmente a esto, la compactación también será más efectiva cuando el forraje sea más finamente picado, en comparación con tamaño de picado mayor, o en forrajes ensilados sin picar.

#### 2.3.2.5. Humedad del suelo y temperatura

El sorgo tolera mejor la sequía y el exceso de humedad en el suelo que la mayoría de los cultivos y crece bien bajo una amplia gama de condiciones en el suelo.

Alessandria (1988), comprobó que es favorable sembrar en suelos húmedos, además pudo observar mediante los resultados del ensayo que el sorgo tiene una gran plasticidad para soportar condiciones de sequía durante la siembra.

Si bien en siembras superficiales la semilla está sujeta a las variaciones ambientales, el sorgo es capaz de esperar a tener la humedad suficiente para germinar y dar un buen número de plántulas de buenas condiciones (Alessandria, 1988).

#### 2.4. FACTORES QUE HACEN VARIAR LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ENSILAJES DE MAÍZ Y SORGO

Entre las decisiones más importantes que debe realizar el productor, y que más afectarán la futura calidad del ensilaje de maíz y de sorgo, será la madurez de la planta al momento de la cosecha.

A medida que la planta madura se produce una traslocación de nutrientes, principalmente desde las hojas hacia la mazorca, fundamentalmente a los granos, en donde se va almacenando en forma de almidón. Por otro lado, y en particular en la zona inferior del tallo, se produce un aumento en el grosor de la pared celular, producido principalmente por un depósito de lignina, lo cual reduce la digestibilidad del tallo del rastrojo.

Como el ensilaje de maíz y sorgo está compuesto por una mezcla de las diferentes partes de la planta (tallos, hojas y panoja), la participación tanto en cantidad como en calidad de cada uno de estas partes, estará influyendo en la cantidad y calidad final del ensilaje. De manera que el estado de madurez de la planta al momento de la cosecha determinará el grado de participación de cada una de las partes de la planta en el ensilaje, y por ende su calidad.

Por otro lado, si el cultivo es cosechado en un estado de madurez del grano muy avanzado y no se utiliza un procesador de grano lo que permite que una parte del grano quede partido, quebrado y molido, éstos tendrán mayor oportunidad de pasar a través del tracto digestivo del animal, sin ser digeridos, por lo tanto, la eficiencia de utilización será baja.

##### 2.4.1. Indicadores de calidad nutritiva

El valor energético, el valor nitrogenado y la ingestibilidad de los ensilados, vienen determinados por la calidad del forraje en el momento de su recolección y de las alteraciones producidas en el mismo, ligadas a las técnicas de recolección, manejo y conservación. Si todo el proceso no se realiza adecuadamente, los resultados pueden ser negativos (De la Roza, 2005).

Las determinaciones analíticas mínimas necesarias para poder valorar un ensilado desde el punto de vista nutricional son pH y su contenido de principios

nutritivos (materia seca, cenizas, proteína bruta, fibra detergente neutro y digestibilidad con celulasa de la misma, Argamentería et al., 1997).

Existen diferentes parámetros que ofrecen información sobre la calidad de los silos en términos de valor nutricional y en relación a la calidad de la conservación y estabilidad en el tiempo. Los mismos se describen a continuación.

#### 2.4.1.1. pH

El pH es la medida de la acidez que presenta un material. Este parámetro es utilizado como un indicador del estado de fermentación del material ensilado. Bajos valores de pH (3,5 a 4,5) indica buena conservación.

Para que un ensilaje sea considerado de buena calidad, es necesario que preserve, al máximo posible, las características nutricionales del material original. Esto ocurre cuando se logran reducciones en la respiración del tejido de la planta, en la actividad proteolítica y en el desarrollo de clostridios, lo que se obtiene con el descenso rápido del pH después del ensilaje (McDonald et al., 1991).

El pH de una muestra ensilada es una medida de su acidez, pero también se ve afectado por la capacidad amortiguadora del cultivo. Cuanto mayor sea el poder tampón más ácido láctico será necesario que se forme en el ensilado para poder alcanzar el pH óptimo de 4, y mayor cantidad de azúcares fermentables será necesaria para poder proporcionar dicho ácido láctico (Cañete y Sancha, 1998).

Para Jobim y Nussio (2007) el pH es una variable que sirve como referencia, un indicador de la calidad fermentativa en ensilados con bajo contenido de MS.

Algunas razones comunes para un pH de ensilaje alto incluyen las siguientes:

- Ensilaje seco (> 50% MS)
- Ensilaje no fermentado completamente debido al tiempo del ensilaje en un buen ensilaje de muestreo temprano en relación con la cosecha, clima frío durante la cosecha y empaque lento o deficiente
- Ensilaje con exceso de amoníaco o urea
- Ensilajes clostridiales
- Ensilajes en mal estado o enmohecidos
- Ensilajes que contienen estiércol.

Dentro de todos los tipos de fermentaciones que suceden a lo largo del proceso de ensilado la más importante es la fermentación láctica, pues es la que producirá las cantidades deseables de ácido láctico en el forraje. Los microorganismos responsables

de esta fermentación suelen pertenecer a los géneros de *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Leuconostoc*, *Lactococcus* y *Streptococcus*; estas bacterias son aerobias facultativas, pero con un mejor desarrollo en condiciones anaerobias; la acción de estas bacterias bajará el pH en valores de 3.8 a 5 (Garcés Molina et al., 2004).

Si no se disminuyen los valores de pH y condiciones anaerobias, entonces, comenzarán a surgir microorganismos que producirán fermentaciones acéticas como la *Escherichia coli* o microorganismos con fermentaciones butíricas como del género *Clostridium* (Callejo, 2018). Tanto en la fermentación butírica como en la acética, se pierde notablemente el valor nitrogenado, materia seca, toxicidad o pueden significar una competencia para las bacterias lácticas.

#### 2.4.1.2. Materia seca

Representa el contenido de materia total de un alimento menos su contenido de humedad. El método más sencillo para determinar la materia seca de un alimento consiste en dejar el material en una estufa hasta que se haya evaporado toda el agua libre (Church y Pond 1977, AOAC 1990).

El contenido correcto de MS (30-35%) de la planta antes del ensilado es un factor importante para el éxito de la fermentación (Ashbell y Weinberg, 2001). Así la degradación del ácido láctico y la producción de amoníaco por bacterias butíricas se ven considerablemente atenuados (Cañete y Sancha, 1998). Forrajes con contenidos de más del 70% de humedad son indeseables dado que el crecimiento de los *Clostridium* no se inhibe aun cuando el pH baje a 4, obteniéndose ensilajes de bajo valor nutricional por pérdidas de efluentes, y poco apreciado por los animales (Alaniz, 2008).

La materia seca del forraje antes de ser ensilado es uno de los indicadores más relevantes para decidir si ensilar o no un forraje. Este indicador representa el porcentaje de materia del forraje sin tomar en cuenta el porcentaje de agua. El porcentaje ideal de materia seca para cosecha esta entre un 34.4 y 35.6% (Martínez et al., 2014).

La materia seca debe ser evaluada después del proceso de ensilaje, al comparar la MS antes y después de ensilar puede proporcionar un estimado de la MS perdida durante el proceso de ensilaje. Se considera un ensilaje de alta calidad cuando su porcentaje de MS es igual o superior a 35% (Martínez et al., 2014).

#### 2.4.1.3. Proteína bruta

Expresa tanto la proteína verdadera como otros compuestos nitrogenados no proteicos. Generalmente se calcula en la mayoría de los alimentos como Nitrógeno multiplicado por el factor 6,25. El método utilizado para su determinación se conoce

como Kjeldhal. El material se digiere con un ácido y posteriormente se mide la cantidad de nitrógeno en forma de amonio (Church y Pond 1977, AOAC 1990).

El porcentaje de proteína bruta se define como el contenido de nitrógeno de una muestra (incluyendo el de origen proteico y el no proteico), determinado por el método Kjeldhal y multiplicado por un factor 6.25 para la mayoría de los forrajes (se aplica este factor ya que las proteínas en promedio tienen un 16% de nitrógeno).

La proteína bruta (PB) es un parámetro significativo debido a su influencia directa en la producción animal. Para ensilados de maíz planta entera, el contenido ha de estar comprendido entre 8 y 10 % sobre MS. Si los valores son superiores y no hubo adición de urea, puede significar un corte demasiado temprano con pérdida de potencial de producción y bajo contenido en almidón (Martínez et al., 2014).

El contenido de proteína cruda de las gramíneas declina rápidamente hasta los 40-60 días de crecimiento, después disminuye lentamente (Milford y Haydock, 1965). Esta disminución con la madurez se atribuye a la disminución de la proporción de la fracción hoja, así como el menor contenido de proteína de esta fracción. En términos generales el contenido de proteína cruda de las gramíneas tropicales en los primeros estadios tiende a ser menor que en las gramíneas templadas, determinado por una combinación de factores genéticos y ambientales, altos potenciales de producción de materia seca y altas temperaturas (Carámbula, 1977).

Cuadro No. 2. Contenido de proteína cruda (PC%) en gramíneas templadas y tropicales en distintos estados de crecimiento (% materia seca)

| Estado de crecimiento      | Gramíneas templadas | Sudangrass | Sorgo |
|----------------------------|---------------------|------------|-------|
| Vegetativo                 | 17,8                | 14,1       | 12,5  |
| Brotes florales expandidos | 9,5                 | 10,7       | 9,3   |
| Floración                  | 8,6                 | 9,1        | 7,1   |
| Grano pastoso              | 6,8                 | 7,7        | 6,1   |

Fuente: adaptado de Carámbula (1977).

#### 2.4.1.4. Fibra detergente neutra (FDN)

Fibra detergente neutro, se asocia con la pared celular o estructural de la planta. Está constituida por lignina, hemicelulosa y celulosa (Van Soest y Wine 1967, Goering y

Van Soest 1970). La FDN es un indicador del potencial de consumo en una especie forrajera. Alimentos con valores mayores de 55-60% de FDN pueden mostrar limitaciones en su consumo máximo voluntario.

La fibra neutro detergente (FND) es la fracción del forraje que se corresponde a las paredes celulares y, está asociada, negativamente con la ingestión de materia seca. El porcentaje de FND se incrementa con el estado de madurez de los forrajes.

#### 2.4.1.5. Fibra detergente ácida (FDA)

La fibra ácida o FDA está constituida por lignina y celulosa. En general son las partes menos digestibles de la planta. La FDA está asociada negativamente con la digestibilidad. En general alimentos con baja FDA poseen buenos contenidos de energía (Van Soest y Wine 1967, Goering y Van Soest 1970).

#### 2.4.1.6. Cenizas

La ceniza es el residuo que permanece tras quemar todo el material en un horno o mufla a temperaturas de 500-600°C. Nutritivamente el valor de las cenizas tiene poca importancia, aunque valores excesivamente altos (mayores a 15 por ciento) pueden indicar contaminación con tierra o dilución del alimento con materiales inorgánicos (Church y Pond 1977, AOAC 1990).

Las cenizas indican el contenido mineral. Si el porcentaje es alto, mayor del 15 % sobre MS, es seguro que hubo contaminación con tierra o mezclado del alimento con materiales inorgánicos (Argamentería et al., 1997).

#### 2.4.1.7. Almidón

El almidón es un polisacárido formado por dos polímeros de glucosa de alto peso molecular, amilosa y amilopectina. La amilosa constituye normalmente un 24-27% del almidón del maíz y la amilopectina conforma el 73-76% restante (Sprague et al. 1943, Deatherage et al. 1954, Zuber et al. 1960, Gourley y Creech 1980, Haaland 1980).

La cantidad de grano en la planta de maíz a ensilar debido a que es el componente con mayor porcentaje de digestibilidad y aporte de energía. El contenido de grano y la calidad del resto de la planta (tallos-hoja) están estrechamente relacionados. El grano es el componente de mayor calidad, por su concentración energética y comprende en situaciones normales entre 40 y 50% de la MS total (Van Olphen et al., 2004).

Si por diversas situaciones climáticas o de manejo se reduce la cantidad de granos, la calidad del tallo resulta proporcionalmente más importante para el valor



nutritivo. Cuando el rendimiento en grano es elevado hay una importante removilización de azúcares del tallo hacia la espiga durante el llenado del grano, esta situación incrementa el contenido relativo de pared celular y por lo tanto la calidad del tallo podría disminuir sensiblemente. En conclusión, la variación en el número de granos altera la relación fuente/destino durante el llenado, por lo tanto, se obtendrán diferentes relaciones carbohidratos solubles – almidón (Van Olphen et al., 2004).

#### 2.4.2. Indicadores de calidad para ensilaje de maíz

Los valores nutritivos de los ensilajes de maíz para obtener una buena calidad son: 28-35% de materia seca (MS), y en base de MS: 8-9% de proteína bruta (PB), 45-50% de fibra en detergente neutro (FDN), 27-32% de fibra en detergente ácido (FDA), 1,5-2% lignina, y 3-4% cenizas (Gallardo, 2008). Valores de pH 3.6-4,2 son los recomendados para un silo de maíz de buena calidad. Los niveles recomendados de almidón para el ensilado de maíz son 27-35 %.

#### 2.4.3. Indicadores de calidad para el ensilaje de sorgo

Los valores nutritivos que determinan una buena calidad de ensilaje de sorgo son: 30% de MS, 7,3% de PB, 36,6 % de FDA, 59% de FDN, 8% Cenizas. Por último, un valor de pH inferior o igual a 4,5, pH superiores a 5 indican una fermentación inapropiada (Grant et al., 1995).

### 2.5. ELECCIÓN DE LA ESPECIE A ENSILAR

El maíz (*Zea mays*) y los sorgos (*Sorghum bicolor*)- (*Sorghum bicolor x Sorghum sudanense*) son cereales de verano cultivados en todo el mundo para consumo humano y para consumo animal.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) la superficie ocupada por sorgo y maíz en el Uruguay para el año 2019 fue de 32000 ha de sorgo, mientras que de maíz se sembró un total de 107000 ha. En cuanto al rendimiento de maíz para el año 2019 fue de 7,6 t/ha., mientras que para el sorgo fue de 4,5 t/ha. Los datos antes mencionados hacen referencia a las hectáreas destinadas a la producción de grano y de ensilajes en su conjunto. Con estos datos se logra observar que en el Uruguay hay una mayor área destinada a la producción de maíz comparada con sorgo.

Aunque el maíz y el sorgo se cultivan en regiones similares, difieren en sus respuestas a la disponibilidad de agua y las condiciones de sequía. En condiciones óptimas de crecimiento, el rendimiento del maíz para grano es comúnmente más alto que el del sorgo (Muchow 1989, Farré y Faci 2006).

El maíz es particularmente sensible a los déficits hídricos alrededor de la floración (Otegui et al., 1995). Por el contrario, el sorgo se considera comúnmente un cultivo tolerante a la sequía (Camargo y Hubbard, 1999).

La resistencia del sorgo a la sequía es atribuida a un sistema de raíces denso y prolífico que es capaz de extraer agua del suelo profundamente en el perfil de este (Wright y Smith 1983, Singh y Singh 1995).

En Argentina, desde el 2000 la introducción de híbridos genéticamente modificados (Flores y Parodi, 2011) promovió la expansión del maíz a nuevas áreas y retrasó las fechas de siembra (Gambin et al., 2016). Esto ha contribuido a la reducción de la superficie de sorgo.

La tecnología de manejo actual difiere entre cultivos, donde el uso de híbridos más actuales, fertilización equilibrada, control de malezas y plagas es común en la producción de maíz, pero no en el de sorgo (Brihet y Gayo 2016, Brihet 2017).

El sorgo todavía es altamente valorado por los agricultores porque tiene costos de producción relativamente bajos y es más tolerante a la sequía (Doggett 1988, Muchow 1989, Farré y Faci 2006). Sin embargo, según las diferencias en la mejora genética, las ventajas del sorgo en entornos propensos a la sequía son cuestionables (Parra et al., 2020).

Un estudio en los EE. UU. Indicó que el sorgo rindió aproximadamente 30% menos que el maíz en condiciones de secano y regadío (Mason et al., 2008). También existe la expectativa de que la diferencia de rendimiento en grano entre el maíz y el sorgo aumentará debido a las inversiones menores en mejoramiento de sorgo (Mason et al., 2008).

La calidad de hoja más tallo de ambos por lo general suele ser baja ya que tienen menos de 50% de degradabilidad ruminal. Esto significa que el sorgo no es mejor que el maíz, sino que bajo ciertas condiciones puede dar un ensilaje de calidad equivalente o levemente inferior.

Tanto para el maíz como para el sorgo, la calidad nutritiva del ensilaje dependerá del índice de cosecha del cultivo al momento del corte, que determina el contenido de almidón del ensilaje (Di Marco, 2013).

Si la proporción de grano en la planta es baja, el ensilaje estará formado por una alta proporción de un material de limitada degradabilidad ruminal. Por último, respecto a las ventajas del sorgo, se puede decir que tiene menor costo de implantación, más resistencia a sequías periódicas, requiere cerca de un 25% menos de agua por unidad de

materia seca acumulada y que los híbridos modernos de sorgo tienen alto rendimiento de materia seca y alta proporción de panoja (Di Marco, 2013).

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. BASE DE DATOS

La base de datos utilizada para este trabajo fue construida con datos obtenidos de los concursos de ensilajes que se realizan en el mes de junio por parte de Prolesa, Nutral y CONAPROLE, desde el año 2013. En el año 2017 la empresa Nutral cambio de firma y paso a ser Agrifirm, la misma siguió siendo parte de los concursos ya que es en el laboratorio de allí donde se realizan los análisis de los ensilajes que participan en el concurso.

El concurso comenzó con la idea de relevar la calidad de los ensilajes de los tambos que remitían leche a CONAPROLE, a medida que se fueron desarrollando los mismos, se siguió con la idea de promover buenas prácticas de manejo para ensilajes, con el fin de mejorar la calidad de los mismos.

Dicha base de datos está compuesta por distintas variables, entre ellas se encuentran las variables año, productor, región, cultivares y composición química. Teniendo un total de 981 muestras de silos de maíz y sorgo analizadas, en un período de siete años consecutivos desde el año 2013 hasta el año 2019.

##### 3.1.1. Variables de la base de datos

**Año:** la base de datos cuenta con un recopilado de datos de siete concursos seguidos, siendo un concurso por año. Los años evaluados fueron 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Cada año contiene una cantidad diferente de muestras siendo el n total de 981 muestras analizadas.

**Productor:** en las tablas del concurso aparece citado como matrícula, cada productor recibe un número de matrícula y eso permite llevar un control de la procedencia de cada muestra. El número de matrículas inscriptas vario entre 70-160 por concurso, el mismo productor puede enviar más de una muestra al concurso, por lo que algunas matrículas presentan más de una muestra al mismo concurso.

**Región:** en cuanto a esta, se encuentra citada en las tablas como agencia, la cual refleja el lugar del cual proviene cada muestra. Por lo general las regiones son del litoral Sur del país como Cardona, Mercedes, Dolores y Tarariras; zona Sur del país como San José, Canelones y Montevideo; también del centro Sur del país como Florida; litoral Este como Treinta y Tres, Lavalleja, Maldonado, y Norte del país como Paysandú. Cabe aclarar que este agrupamiento de las regiones fue un criterio que se adquirió al momento de analizar los datos.

Cultivares: este se corresponde con el nombre de variedades en las tablas de los concursos y hace referencia a la variedad de los materiales de maíz y sorgo que se utilizan en la realización de los silos. Para el maíz se cuenta con un total de 67 cultivares, mientras que para el sorgo se cuenta con un total de 61 cultivares. Hay algunas muestras que no cuentan con el dato del cultivar utilizado, ya que no se pudo obtener esa información, la cual es brindada por los productores al momento de la inscripción del material (ver cuadros No. 1 y No. 2 en los anexos).

No hay mucha información sobre mejoramiento de materiales para ensilaje, el mejoramiento utilizado a nivel nacional y regional es para materiales que tienen como fin la producción de grano, y son estos los materiales que habitualmente se utilizan para la producción de reserva como ensilaje.

### 3.1.2. Parámetros de calidad

Otra parte importante que contiene la base de datos son los parámetros de composición química, siendo estos:

- Materia seca (MS)
- Proteína cruda (PC)
- Cenizas
- Fibra detergente ácida (FDA)
- Fibra detergente neutra (FDN)
- Acidez (pH)
- Almidón

La materia seca se determina secando la muestra de ensilaje en estufa a 68°C, en cuanto a la proteína cruda, FDN, FDA, almidón, y cenizas son obtenidos mediante el NIRS, este es un análisis de infrarrojo cercano que permite un análisis rápido y preciso de las muestras. En cuanto al pH, este se mide mediante un peachímetro.

En base a estos datos se hallaron medias generales para todos los años, y se agrupó en tres categorías en base al contenido de materia seca de los materiales utilizados. En el caso del parámetro almidón fue estimado solo para los cultivares de maíz.

Cabe destacar que hay datos faltantes en la base de datos que no pudieron ser completados por falta de información, por lo cual una vez que se realicen los análisis parte de esos datos faltantes no serán tomados en cuenta.

### 3.2. TÉCNICAS UTILIZADAS

El análisis estadístico se determinó para las variables de composición química, hallándose la media, los máximos, mínimos, desvió estándar y el coeficiente de variación para ambos cultivos en su conjunto, con el fin de observar si existe o no variación en el período de analizado.

Se utilizó un programa llamado “R software” (R Core Team, 2021), con el fin de realizar un análisis estadístico descriptivo. Este es un conjunto de programas integrado para el manejo de datos, simulaciones, cálculos y realización de gráficos. Permite manipular datos rápidamente y de forma precisa, también se puede automatizar fácilmente, gracias a la creación de scripts que automatizan procesos, por ejemplo, leer datos o hacer operaciones con los datos, y hacerlo siempre de forma automática.

Con dicho programa se realizaron:

- Boxplot, representado por un diagrama de caja que representa gráficamente una serie de datos numéricos a través de sus cuartiles. En el mismo se representan los promedios y la mediana.
- Análisis de componentes principales (PCA), la cual es una técnica utilizada para describir un conjunto de datos en términos de nuevas variables (componentes) no correlacionadas entre sí, los componentes se ordenan por la cantidad de varianza original que describen, por lo que la técnica es útil para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos. Este fue creado por un paquete llamado Factorminer R (Le et al., 2008), para este análisis, se omitieron datos faltantes, porque hay datos cuantitativos como cualitativos que faltan y no se pueden recrear esos datos, por lo que se pierde parte del análisis por muestras desconocidas. Quedando así un n de 430 para el análisis de sorgo y 330 para el de maíz.
- Elipses de confianza
- Agrupamiento jerárquico HCPC, se utilizó las distancias euclidianas como medida de similitud y el método de Ward para el agrupamiento jerárquico, este método permite identificar grupos de muestras, tratando de minimizar la varianza dentro de grupo.

## 4. RESULTADOS Y DICUSIÓN

### 4.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA BASE DE DATOS

#### 4.1.1 Cultivares presentes en la base de datos

Para sorgo hay cultivares que se repiten todos los años como lo son Dairy master II y ACA 710 BMR, seguidos por ACA 711 BMR, BMR 1000 y Candy graze que aparecen en seis de los siete años de concursos evaluados. Después se encuentran Padrillo, ACA 727, ACA 558, que se hacen presentes en cinco de los siete años. Se encontró presente en tres años a cultivares como ADV 2900, ACA 729, y Sugargraze. El resto de los cultivares están presentes algunos en dos años y otros tantos en solo un año (ver cuadro No. 1 en los anexos).

En cuanto a maíz no hay ningún cultivar que aparezca todos los años evaluados, pero el cultivar que aparece en cinco de siete años es el IPB 2181 MG RR, seguidos por ACA 485, DUO 28 PW, IPB 2880 MG RR, IPB 3785, NK 907 TD TG, NK 900, los cuales aparecen en cuatro de siete años. En tres años aparecen KWS 4360, ACA 498, NK 860. El resto de los cultivares aparecen algunos dos años, y muchos otros solo presentes en un año (ver cuadro No. 2 en los anexos).

Haciendo referencia a lo anterior, puede ocurrir que en el mercado haya diferentes materiales disponibles, algunos buenos en calidad, pero no en volumen, otros materiales buenos en volumen, pero no en calidad, tener muchas opciones en el mercado puede no ser lo mejor ya que todo el tiempo se estaría probando nuevos materiales de los cuales no se tiene la certeza de que sean mejores que los que ya se conocen. Además, se observó que la mayoría de los productores fueron cambiando y son pocos los productores que utilizan siempre el mismo cultivar.

#### 4.1.2. Composición química de los ensilajes de sorgo y maíz

Se calculó la media general de todos los años de la composición química de los materiales ensilados, agrupándolos en tres categorías según el porcentaje de materia seca, con el fin de compararlos con valores de referencia como lo son la tabla FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal) y la tabla NRC (del Consejo Nacional de Investigación, por sus siglas en inglés), que serán presentadas a continuación.

Cuadro No. 3. Composición química de los ensilajes de maíz del concurso y los publicados por referencias FEDNA y NRC. Resultados expresados como %MS

| Ensilaje maíz | Categorías            | MS   | FDN  | FDA  | PC   | Cenizas | Almidón |
|---------------|-----------------------|------|------|------|------|---------|---------|
| Concurso      | <25 MS                | 23,2 | 51,4 | 31,4 | 8,2  | 6,7     | 17,2    |
|               | 25-30 MS              | 30,4 | 43,5 | 25,4 | 7,7  | 5,4     | 25,6    |
|               | >35 MS                | 39,2 | 39,2 | 22,4 | 7,3  | 4,7     | 32,6    |
| FEDNA 2016    | 20-25 MS              | 22,5 | 53,7 | 33,3 | 8,4  | 6,3     | 20,8    |
|               | 25-30 MS              | 27,5 | 48,2 | 29,1 | 7,68 | 4,51    | 28      |
|               | 30-35 MS              | 32,5 | 46   | 26,8 | 7,13 | 4,18    | 31,8    |
|               | >35 MS                | 35   | 44,9 | 25,3 | 6,95 | 4,01    | 34,2    |
| NRC           | Silo inmaduro < 25 MS | 23,5 | 54,1 | 34,1 | 9,7  | 4,8     | .....   |
|               | Silo normal 32-38 MS  | 35,1 | 45   | 28,1 | 8,8  | 4,3     | .....   |
|               | Silo maduro > 40 MS   | 44,2 | 44,5 | 27,5 | 8,5  | 4       | .....   |

Fuente: elaborado en base a NRC (2001), FEDNA (2021).

Como se puede ver en el cuadro No. 3 los valores de PC de maíz del concurso, están por encima de los valores promedios de la tabla FEDNA, y por debajo de los valores de la tabla NRC. En cuanto a la FDN, los valores del concurso están por debajo de los valores promedios de ambas tablas, también el contenido de FDA está por debajo, pero esto es importante en cuanto a la calidad final de los ensilajes, ya que se considera un ensilaje de buena calidad cuando este presenta un buen contenido de PC alrededor de 8-9% acompañado de un bajo contenido de FDN y FDA, teniendo en cuenta que los ensilajes no son buenos en proteína cruda, pero si son buenos en energía. Además, cabe destacar que con valores adecuados de MS (30-35%) se logra un silo de buena calidad, favoreciendo así a los parámetros antes mencionados.

En cuanto a los ensilajes de sorgo, cuadro No. 4, los cuales forman parte de la tabla de datos analizada, se puede observar que el contenido de PC está por debajo del contenido que presentan las tablas FEDNA y NRC, lo mismo ocurre con el contenido de FDN, este es menor que en ambas. En cuanto a la FDA, el contenido de esta también es menor comparada con los datos internacionales. Lo cual, es deseable obtener un contenido de FDA bajo, ya que es la parte menos digestible de la fibra.



Cuadro No. 4. Composición química de los ensilajes de sorgo del concurso y los publicados por referencias FEDNA y RNC. Resultados expresados como %MS

| Ensilaje sorgo | Categorías           | MS   | FDN  | FDA  | PC   | Cenizas |
|----------------|----------------------|------|------|------|------|---------|
| Concurso       | <25 MS               | 22,7 | 60,2 | 38,6 | 7,1  | 7,1     |
|                | 25-30 MS             | 29,1 | 52,6 | 33,9 | 6,7  | 6,4     |
|                | >35 MS               | 37,7 | 49,3 | 31,6 | 7,3  | 6,2     |
| FEDNA 2016     | 20-25 MS             | 22,5 | 61,1 | 40,7 | 8,79 | 8,74    |
|                | 25-30 MS             | 27,5 | 58   | 37,5 | 8,37 | 8,07    |
|                | 30-35 MS             | 32,5 | 59,3 | 37,4 | 8,25 | 11      |
|                | >35 MS               | 35   | 57,1 | 35,2 | 8,25 | 10,6    |
| NRC            | Silo sorgo granífero | 28   | 60,7 | 38,7 | 9,1  | 7,5     |
|                | Silo sorgo forrajero | 28,8 | 63,3 | 40,7 | 10,8 | 10,9    |

Fuente: elaborado en base a NRC (2001), FEDNA (2021).

En los cuadros No. 3 y No. 4 se puede observar que a medida que aumenta el porcentaje de MS (al cual se lo puede considerar como un indicador de madurez a la cosecha) el contenido de fibras disminuye y el contenido de almidón aumenta por lo que cuanto más maduro este el cultivo, más grano va a tener y por lo tanto más almidón.

#### 4.1.3. Variación del contenido de PC entre años

El promedio de proteína cruda para el ensilaje de maíz fue de 7,74, mientras que para el ensilaje de sorgo fue de 7,00, estos valores están por debajo de los valores de proteína encontrados en la revisión bibliográfica, esto pudo deberse a que los datos encontrados son de ensayos experimentales y estos valores pueden variar siendo materiales que se evalúan en un concurso. Los resultados se representan en el cuadro No. 5.

Cuadro No. 5. Porcentaje de proteína cruda para los ensilajes de maíz y sorgo en el período estudiado

| AÑOS | SILO MAÍZ     |        | SILO SORGO    |        |
|------|---------------|--------|---------------|--------|
|      | Promedio PC % | Desvío | Promedio PC % | Desvío |
| 2013 | 7,23          | 0,95   | 6,62          | 1,16   |
| 2014 | 8,39          | 0,83   | 7,20          | 0,99   |
| 2015 | 7,20          | 0,68   | 6,97          | 1,04   |
| 2016 | 8,18          | 0,77   | 7,91          | 1,11   |
| 2017 | 7,87          | 0,80   | 7,06          | 1,12   |

|           |      |      |      |      |
|-----------|------|------|------|------|
| 2018      | 8,07 | 0,75 | 7,50 | 1,02 |
| 2019      | 7,21 | 0,79 | 5,72 | 0,98 |
| X General | 7,74 | 0,80 | 7,00 | 1,06 |

Para ambos materiales la PC es muy variable, aunque se logra observar que es más variable en el sorgo que en el maíz, ya que presenta un mayor desvío en todos los años analizados.

El contenido de proteína cruda de los ensilajes es uno de los componentes químicos que más varía junto al contenido de almidón (muy relacionado a la madurez del cultivo al momento de la cosecha) como consecuencia de las condiciones climáticas y de manejo, por ejemplo, la cantidad de agua disponible proveniente de las precipitaciones ocurridas en el período de crecimiento del cultivo, que promueven un mayor rendimiento en kg de MS/ha. y por lo tanto una dilución del contenido de proteína, así como también la disponibilidad de nitrógeno en el suelo. Esto tiene que ver con lo mencionado en la revisión bibliográfica, el clima es uno de los factores que más influye en la calidad del ensilaje, períodos de lluvias intensos en los meses durante la floración del cultivo determina que haya una dilución de la proteína, obteniéndose un mayor rendimiento total y también un mayor contenido de almidón.

En el cuadro No. 5 se puede observar que, en el año 2013, 2015 y 2019 el contenido de PC fue menor al de los demás años, esto pudo haber ocurrido por el contenido de nitrógeno y la disponibilidad de agua en el suelo.

Según INIA. GRAS (2021), en el período 2012-2013 las lluvias se concentraron más en el mes de diciembre, mientras que en enero y en febrero la lluvia fue menor, en cuanto al período 2014-2015, fue un período con bastantes lluvias desde octubre 2014 hasta enero 2015, ya en el mes de febrero la lluvia fue menor. Por último, para el período 2018-2019, los mapas muestran que para los meses de noviembre, octubre, diciembre y enero las lluvias fueron abundantes, siendo las máximas en el mes de enero. Es en este último período donde la disminución de la proteína es más acentuada, pudiéndose deber a que fue el período con más precipitaciones acumuladas, dando como consecuencia una dilución de la proteína cruda en los cultivos cosechados (ver mapas de precipitaciones 2013-2019 en los anexos).

Para el período 2013-2014 los resultados de precipitaciones indican que fue un período con bastantes lluvias durante el verano, aunque esto no refleja el contenido de proteína obtenido por los cultivos, esto pudo deberse a la fertilización nitrogenada, logrando contrarrestar el efecto de dilución de la proteína (ver mapas de precipitaciones 2013-2019 en los anexos).

En cuanto al resto de los períodos evaluados, 2015-2016, 2016-2017 y 2017-2018, indican períodos relativamente secos, influyendo en la dilución/concentración de la proteína cruda por mayor o menor rendimiento, y en el aporte de nitrógeno por mineralización que ocurre en períodos secos (ver mapas de precipitaciones 2013-2019 en los anexos).

## 4.2. ANÁLISIS DESCRIPTIVO

### 4.2.1. Descripción de variables numéricas y su representación gráfica

Los resultados de mínimos, máximos, media, desvío estándar y coeficiente de variación para la composición química de los alimentos se presentan en el cuadro No. 6.

Cuadro No. 6. Composición química de los ensilajes de maíz y sorgo en su conjunto (en %MS a excepción del pH)

|                            | Mín. | Máx. | Media | Desvío Estándar | Coef. Variación (%) |
|----------------------------|------|------|-------|-----------------|---------------------|
| pH                         | 3,25 | 7,51 | 3,85  | 0,31            | 8                   |
| MS (%)                     | 15,7 | 48,3 | 30,7  | 5,19            | 17                  |
| FDN (%)                    | 30,5 | 72,8 | 48,4  | 8,33            | 17                  |
| FDA (%)                    | 17,2 | 51,5 | 30    | 6,5             | 22                  |
| PB (%)                     | 3,53 | 11   | 7,19  | 1,19            | 16                  |
| Cenizas (%)                | 3,52 | 10,2 | 5,98  | 1,12            | 19                  |
| Almidón (%)<br>(solo maíz) | 4,78 | 45,2 | 27,2  | 7,61            | 28                  |

Se observa en el cuadro No. 6 un coeficiente de variación del 28% para la variable almidón, esta es uno de los componentes que tiene mayor variación, y la misma es analizada solo para los ensilajes de maíz.

#### 4.2.1.1. Resultados de composición química para los ensilajes de maíz y sorgo en su conjunto e individuales (2013-2019)

Si bien en el cuadro No. 6 detalla los valores para los materiales en su conjunto también se obtuvieron cuadros por separado para cada material con el fin de explicar junto al cuadro anterior los gráficos que se presentan a continuación (ver cuadros No. 6 y No. 7 en los anexos).

Como se observa en la figura No. 3 en el año 2016 se da una subida de proteína, debido a individuos que presentan valores más altos de proteína para ese año, los puntos que están por encima de los “bigotes” muestran que hay individuos que superan a la

media, mientras que para el año 2019 los valores de PB fueron los más bajos del período analizado. Como se vio en el cuadro No. 5, en el año 2019 la lluvia fue intensa en el período de crecimiento del cultivo, ocurriendo así una dilución del contenido de proteína.

- PROTEÍNA BRUTA

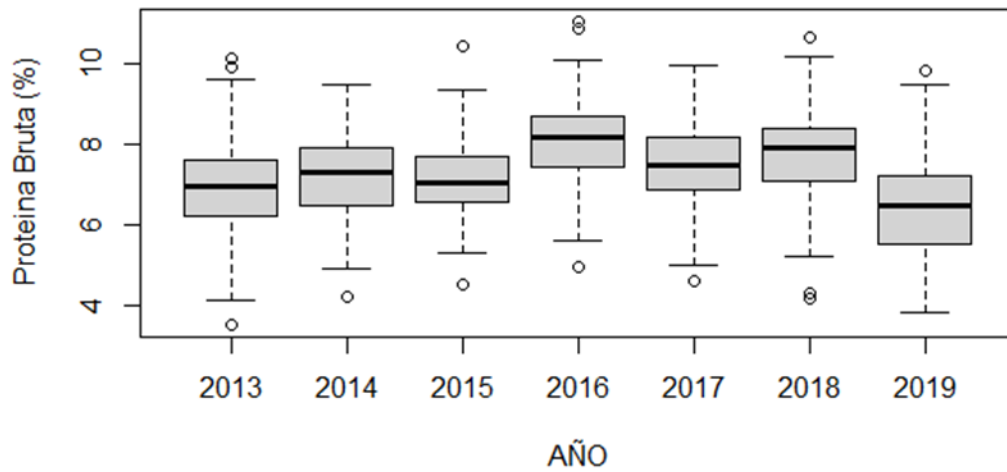


Figura No. 3. Valores promedios anual de proteína bruta para los ensilajes de maíz y sorgo en su conjunto

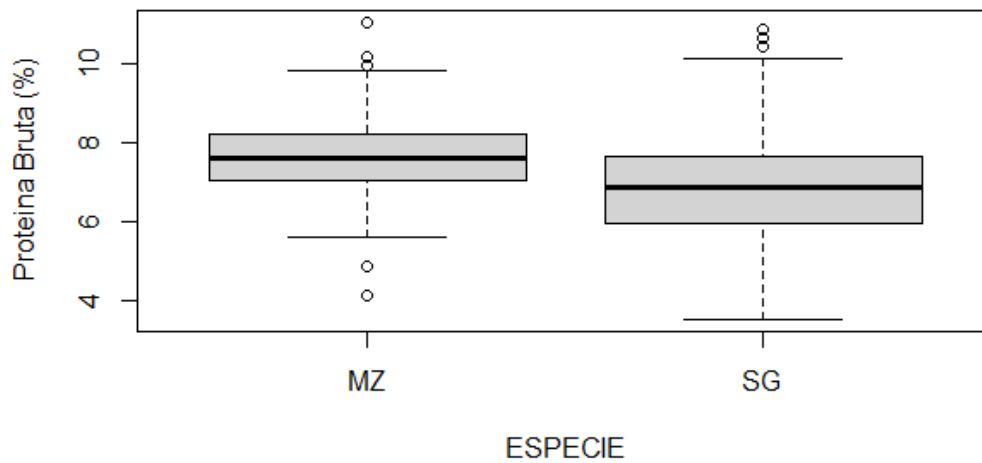


Figura No. 4. Valores promedios de proteína bruta según especie (2013-2019)

El contenido de proteína bruta es mayor en ensilaje de maíz que en el ensilaje de sorgo como se logra ver en la figura No. 4, la diferencia está dada por la especie, el maíz posee un mayor contenido PB según FEDNA (2019).

- FIBRA DETERGENTE NEUTRO

Para el año 2019 hubo una media mayor que para el resto de los años, dando un mayor porcentaje de FDN como se logra observar en la figura No. 5.

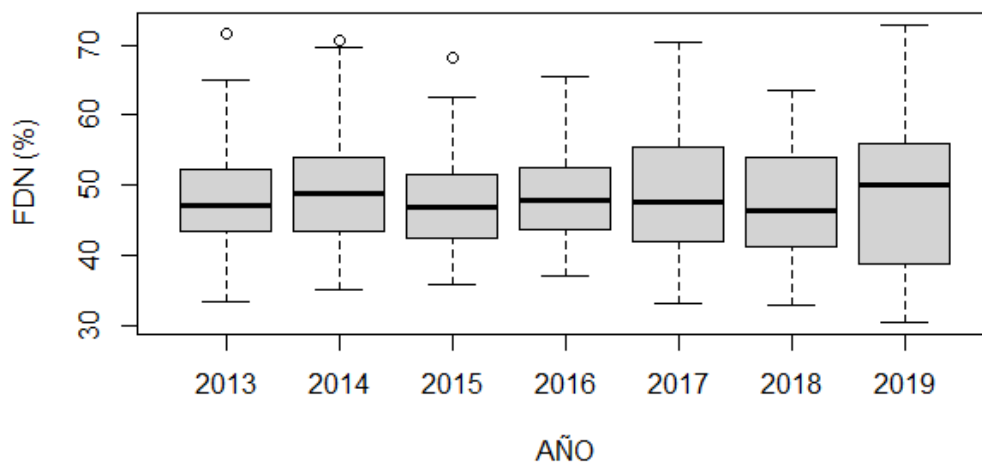


Figura No. 5. Valores promedios anual de FDN para los ensilajes de maíz y sorgo

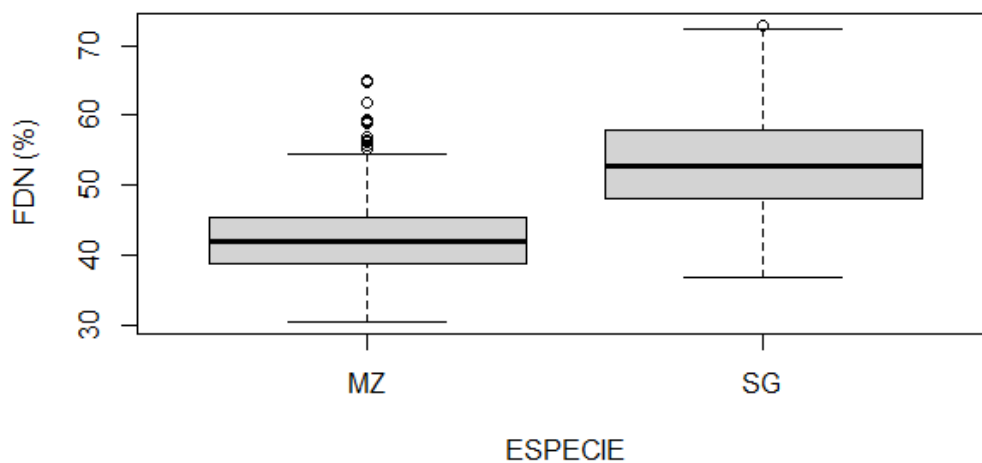


Figura No. 6. Valores promedios de FDN para el período 2013-2019 según especie

Para los ensilajes de sorgo se obtuvieron valores promedios de FDN mayores a los ensilajes de maíz, esto se debe a que son especies diferentes, con diferentes valores en cuanto a su composición química, como se puede observar en la figura No. 6.

- FIBRA DETERGENTE ÁCIDO

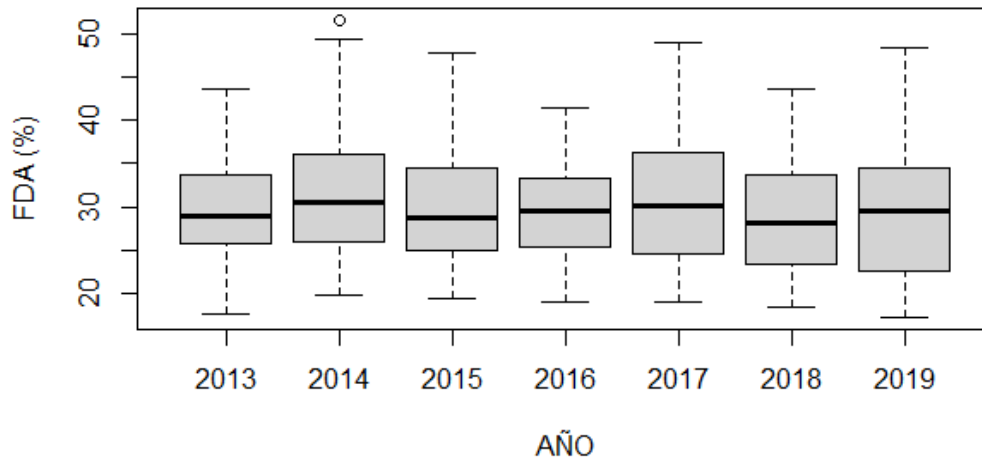


Figura No. 7. Valores promedios anual de FDA para los ensilajes de maíz y sorgo

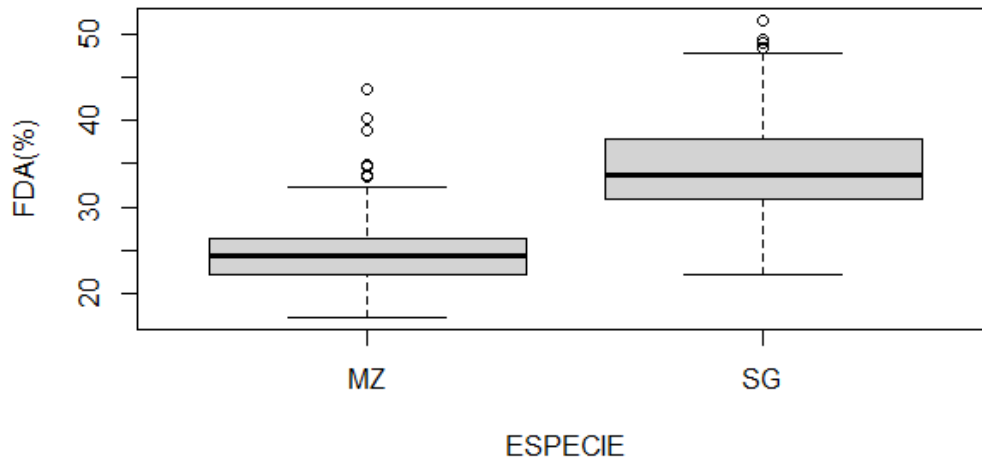


Figura No. 8. Valores promedios de FDA para el período 2013-2019 según especie

En cuanto a la FDA, su contenido también es mayor en ensilajes de sorgo que en ensilajes de maíz, esto se debe a la diferencia entre especies lo mismo que pasa con la FDN.

- MATERIA SECA

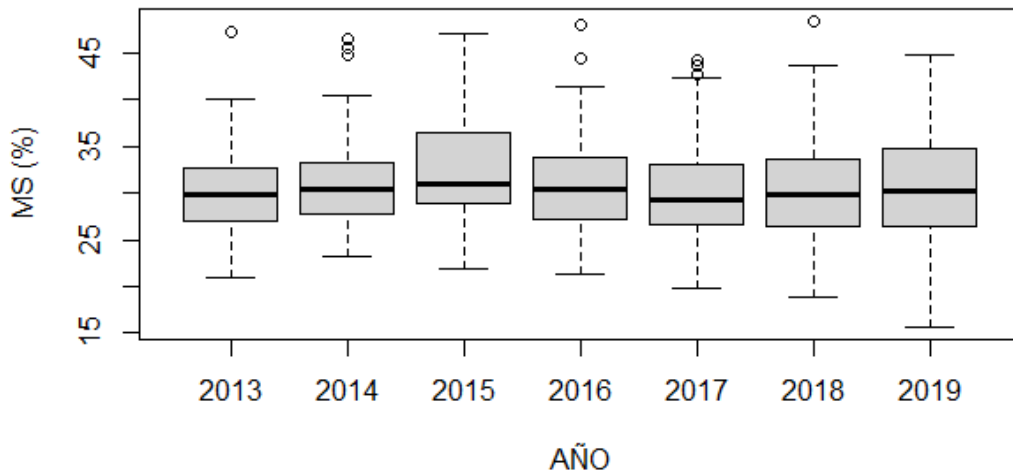


Figura No. 9. Valores promedios anual de MS para los ensilajes de maíz y sorgo

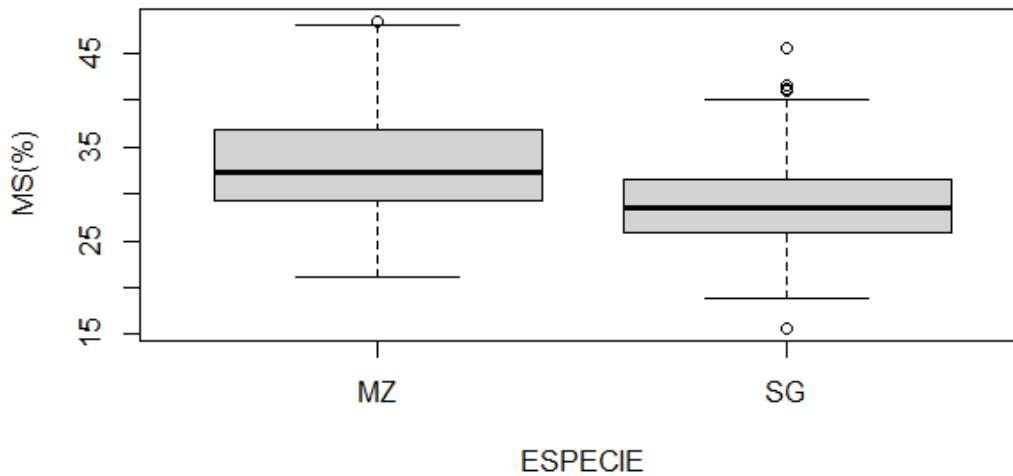


Figura No. 10. Valores promedios de MS para el período 2013-2019 según especie

Para la materia seca, se observa que no existe una diferencia tan notoria como en el resto de las variables, aunque el ensilaje de maíz presenta valores más altos de materia seca que los ensilajes de sorgo (ver figura No. 10). Estas diferencias se deben a los momentos de cortes de cada cultivo, y al proceso de conservación de los mismos.

- pH

Hay valores de pH que están por encima de la media, dentro de los rangos esperados y hay otros casos donde se observan puntos más alejados de los “bigotes”, esto determina que hay ensilajes con valores que superan el nivel esperado, dichos individuos con pH altos cercanos a 7,5- 8 seguramente no tuvieron un proceso de conservación adecuado (ver figura No. 11).

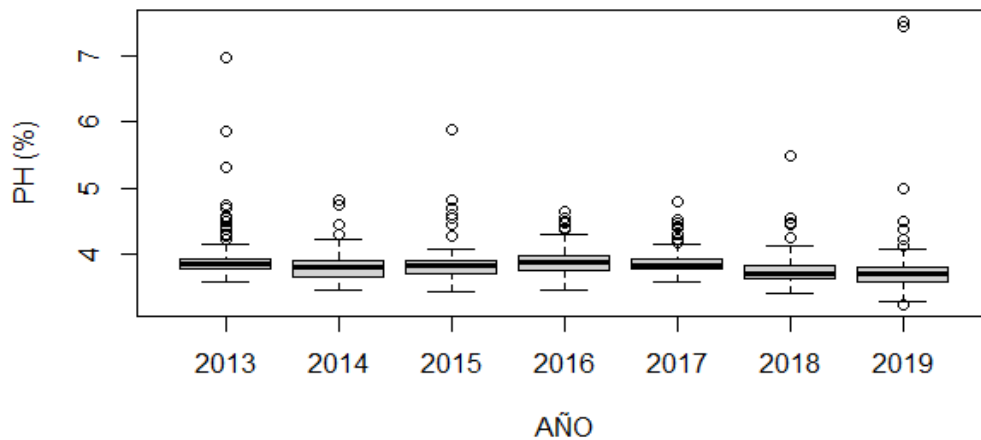


Figura No. 11. Valores promedios anual de pH para los ensilajes de maíz y sorgo

En cuanto al pH no existe una diferencia notoria entre especies para esta variable, hay excepciones en donde se observan valores altos de pH que son consecuencia de malas conservaciones (ver figura No. 12)



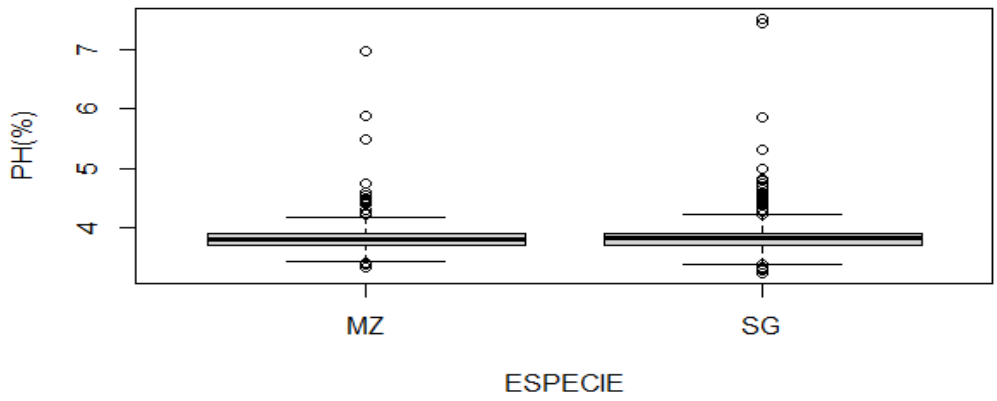


Figura No. 12. Valores promedios de pH para el período 2013-2019 según especie

- CENIZAS

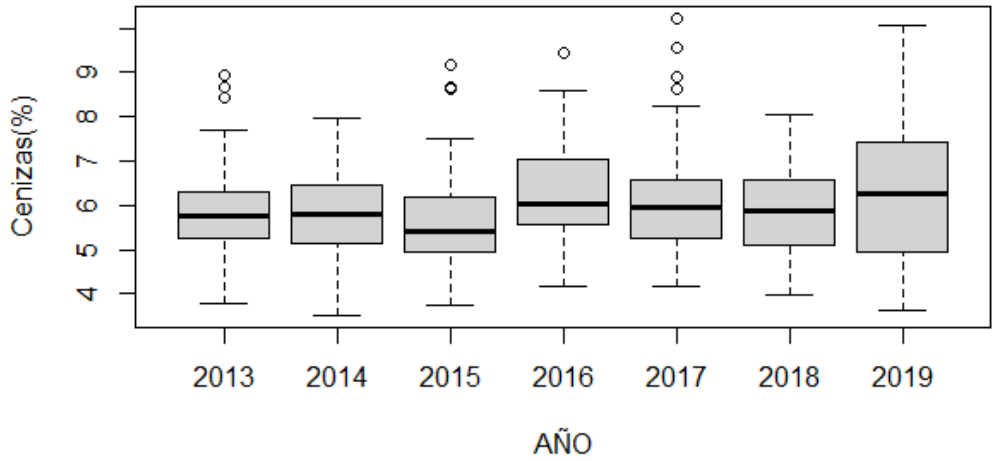


Figura No. 13. Valores promedios anual de cenizas para los ensilajes de maíz y sorgo

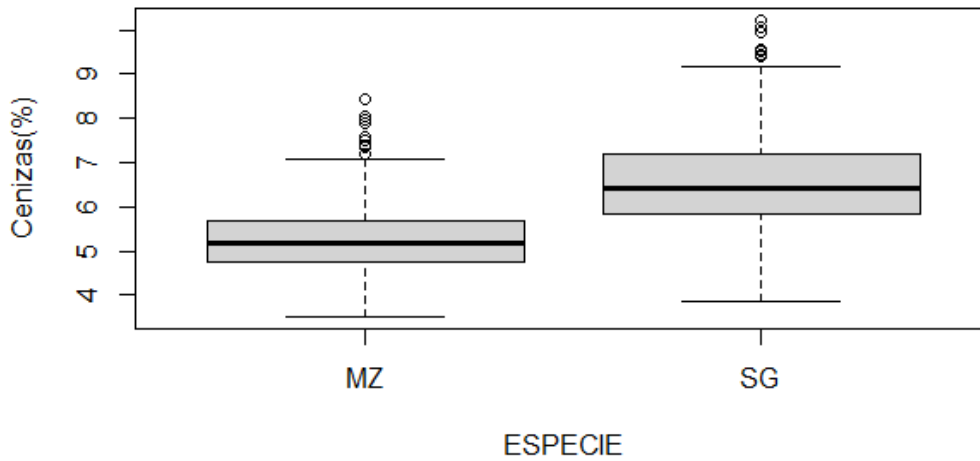


Figura No. 14. Valores promedios de cenizas para el período 2013-2019 según especie

En cuanto al contenido de cenizas, esta diferencia entre ambos es debida también a la especie, los ensilajes de maíz por lo general tienen un contenido de cenizas menor que los ensilajes de sorgo según FEDNA (2019), aunque cuando el contenido de cenizas supera el 15-18% puede considerarse que hubo una contaminación por tierra (ver figuras No. 13 y No. 14).

- ALMIDÓN

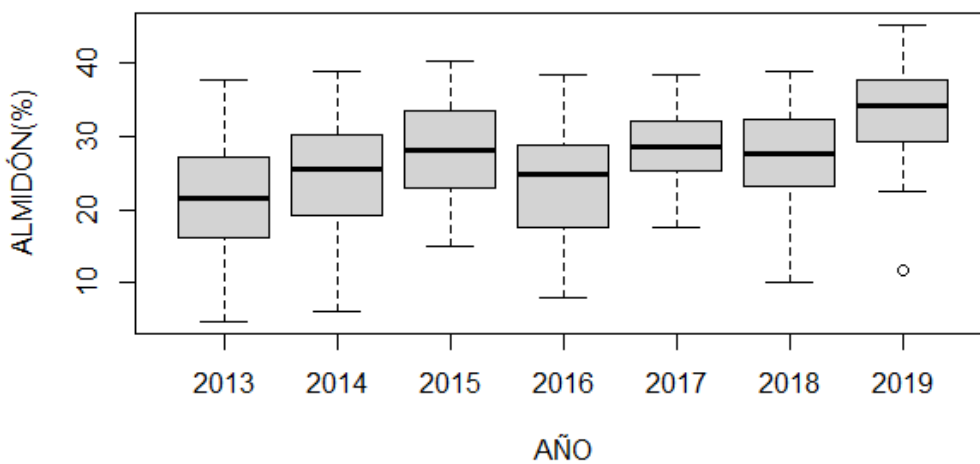


Figura No. 15. Valores promedios anual de almidón para los ensilajes de maíz

El almidón solo se tuvo en cuenta para los ensilajes de maíz, ya que es en este cultivo donde es más relevante su análisis, cuando hay un período de buenas lluvias durante el estado reproductivo, se desarrolla mejor el grano obteniéndose una mayor acumulación de almidón.

Con respecto a la descripción anterior se puede observar que el efecto año es el mismo para los ensilajes de maíz que para los ensilajes de sorgo, poniendo en duda la tolerancia a la sequía por parte del sorgo comparado con el de maíz, existen diferencias entre cultivar, pero son escasas como para afirmar que uno es mejor que el otro, además para los ensilajes de sorgo hay una menor inversión en cuanto a mejoramiento, mientras que para maíz hay una mayor inversión.

#### 4.2.2. Análisis de componentes principales (PCA)

En el análisis de componentes principales es muy relevante cuanta varianza está explicada por cada componente, en este caso con 3 componentes se explica casi el 80% de la varianza, pero además con ninguna correlación entre componentes (son ortogonales entre sí). Es decir, no hay variabilidad que pueda estar correlacionada o "compartida" entre componentes, es exclusiva de ese componente, en estadística es muy importante dicho aspecto, de que no tenga variabilidad de "otras cosas" que no son propias (ver cuadro No. 5 en anexos).

En un principio se realizó el análisis de PCA con las dos especies juntas, pero se observó que son especies muy distintas entre sí, lo que dio pie para analizarlas por separado, en la figura No. 16 se observa el gráfico de PCA para ambas especies y en la figura No. 17 las diferencias entre ellas.

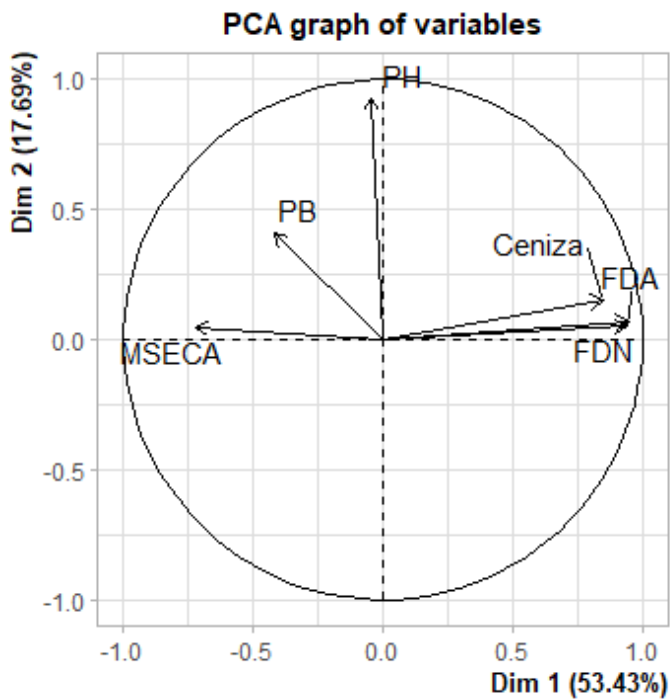


Figura No. 16. Análisis de componentes principales para ensilaje de maíz y ensilaje de sorgo

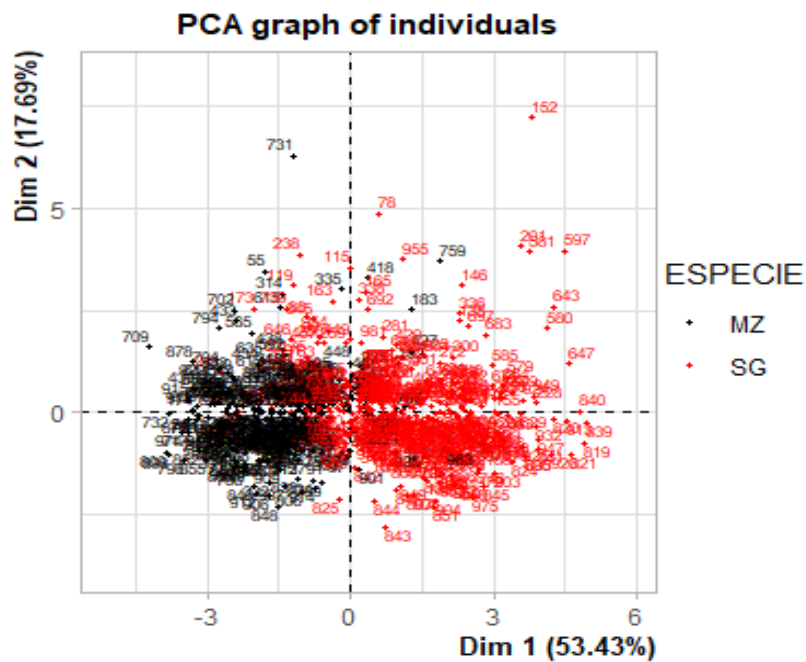


Figura No. 17. Diferencias entre especies

Observando en conjunto las figuras No. 16 y No. 17 se puede ver que están en zonas diferentes en el gráfico, el ensilaje de sorgo está más relacionado con un contenido alto de fibras, más a la derecha, mientras que el ensilaje de maíz está más relacionado a un alto contenido de MS, más a la izquierda, las especies son bien diferentes entre sí, por lo que se decidió analizarlas por separado.

#### 4.2.2.1. Sorgo

En la figura No. 18 se observan las relaciones que existen entre todas las variables de composición química; la materia seca, la proteína bruta y el pH están correlacionadas positivamente ya que están agrupadas en el mismo cuadrante, pero es más fuerte la correlación que existe entre proteína bruta y materia seca porque están más cerca una de la otra. Se agrupan en el otro cuadrante, con una relación inversa las cenizas, la FDN y la FDA estando muy cercas entre ellas, lo que indican que están muy correlacionadas (ver cuadro No. 3 en anexos).

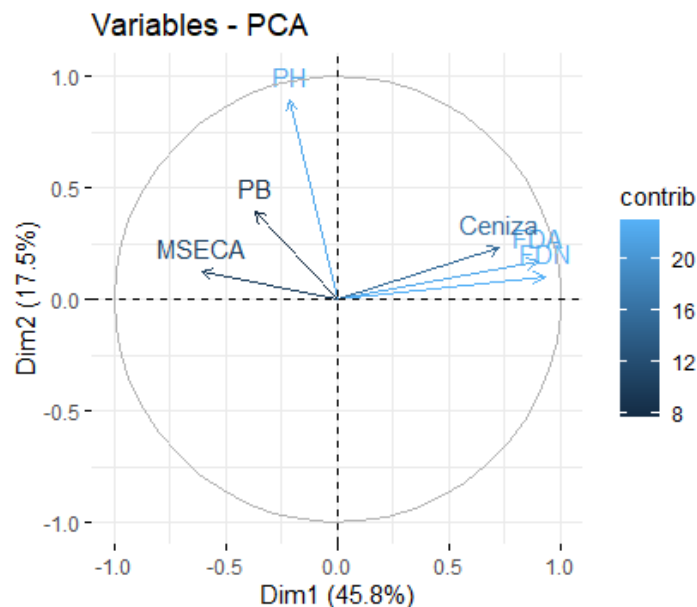


Figura No. 18. Relación entre las diferentes variables de composición química para los ensilajes de sorgo expresadas en %

Al análisis de PCA también se le incorporo las elipses de confianza, incluyendo allí las variables cualitativas como son la zona y el año, en la figura No. 19 se puede observar que la mayoría de las elipses están solapadas, esto demuestra que no están agrupadas muy distintas, los años no se agrupan tan distinto, a excepción del año 2019 que no está solapado con los demás, este año es bien diferente al resto. En la figura No.

20 las elipses de la zona están todas solapadas, por lo que también demuestra que están muy parecidas agrupadas, para la zona Norte y Este las elipses son las más grandes y alargadas, esto se debe a la cantidad de muestras que provienen de esas zonas, son pocas muestras comparadas con el resto de las zonas.

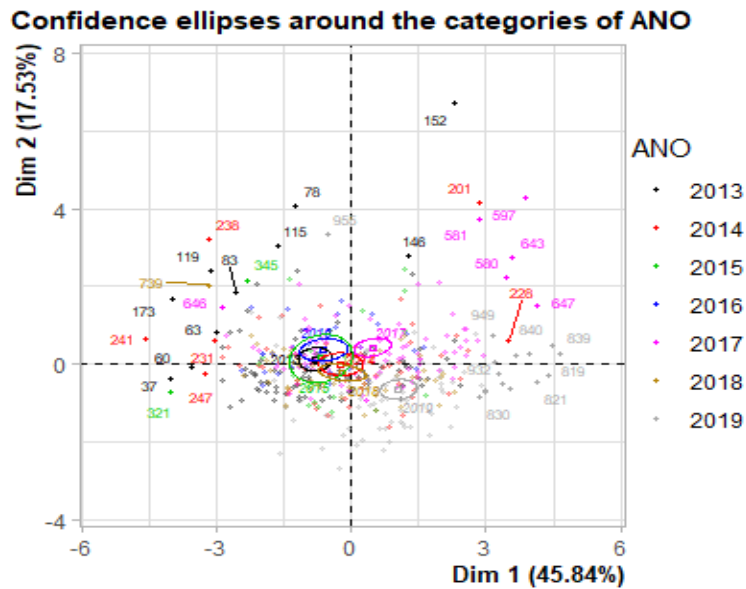


Figura No. 19. Elipses de confianza para la variable “año” en los ensilajes de sorgo

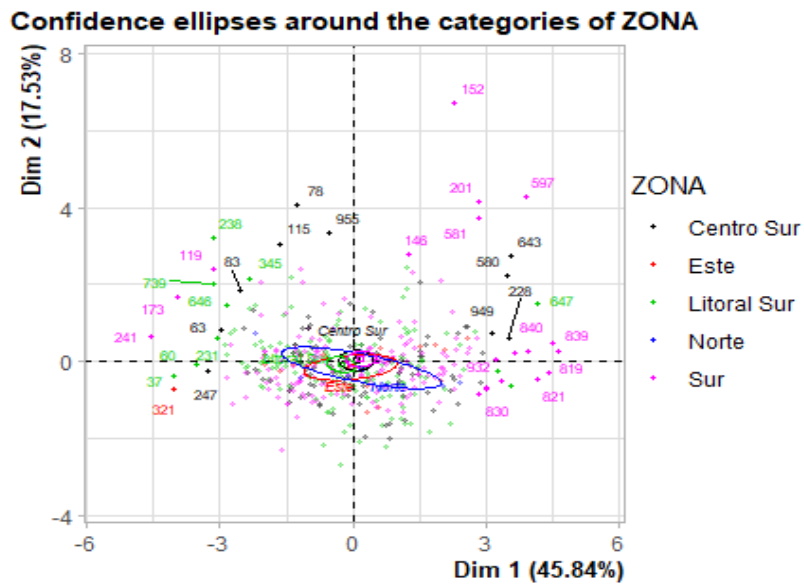


Figura No. 20. Elipses de confianza para la variable " zona" en los ensilajes de sorgo

#### 4.2.2.2. Maíz

En la figura No. 21 se observan las correlaciones que existen entre las variables pertenecientes a la composición química de los ensilajes de maíz. Existe una correlación positiva entre almidón y materia seca, pero ambas presentan correlación negativa con el contenido de FDN y FDA. En cuanto al pH se puede decir que existe una correlación “0” con respecto al almidón y a la materia seca, ya que está a una distancia de 90°. La proteína bruta no está asociada a la MS ni al almidón, pero sí parece estar relacionada con las cenizas (ver cuadro No. 4 en anexos).

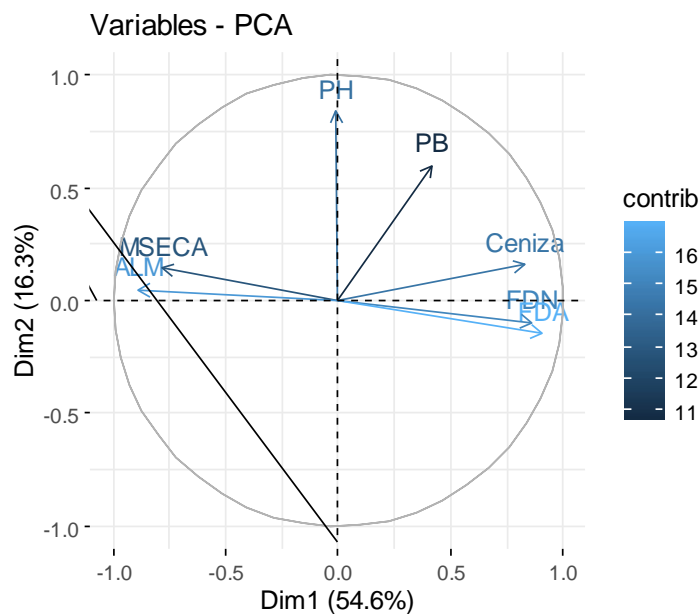


Figura No. 21. Relación entre las diferentes variables de composición química para los ensilajes de maíz expresadas en %

Para los ensilajes de maíz también se realizaron las elipses de confianza, dando como resultado algo muy parecido a lo obtenido en sorgo, en la figura No. 22 se puede observar que los años se solapan, excepto el año 2019 que está alejado del resto, lo que indica que hay diferencias con el resto de los años, que se solapan los años demuestra que no es muy distinta la agrupación de los mismos. En cuanto a la variable zona, también ocurre lo mismo que en los ensilajes de sorgo, todas las elipses se solapan, quiere decir que no son muy distintas en cuanto a su agrupación, pero si son distintas según el tamaño de muestras que proviene de cada zona, siendo el Norte y Este las zonas del país de donde provienen un número de muestras menor (ver figura No. 23).

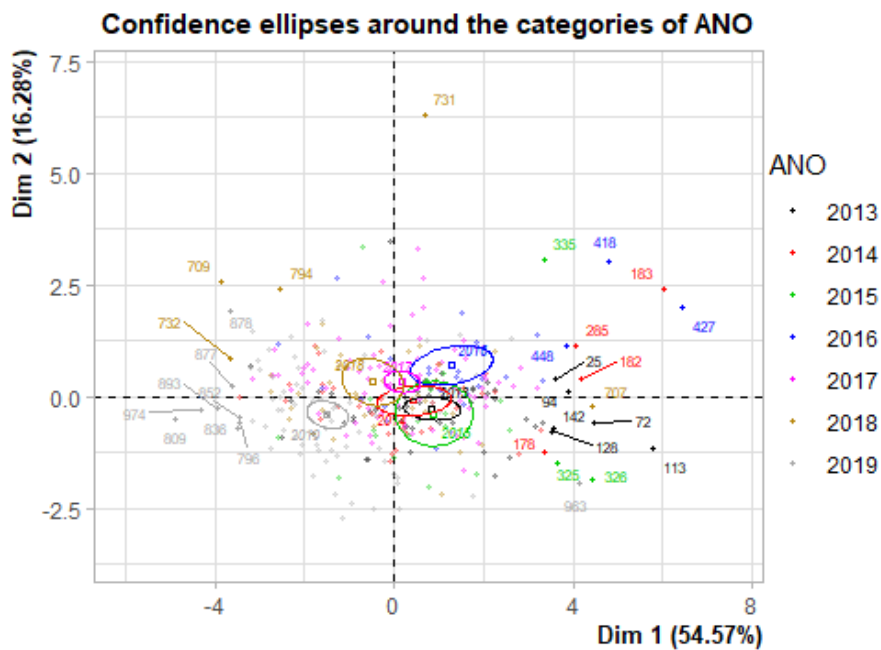


Figura No. 22. Elipses de confianza, para la variable "año" en los ensilajes de maíz

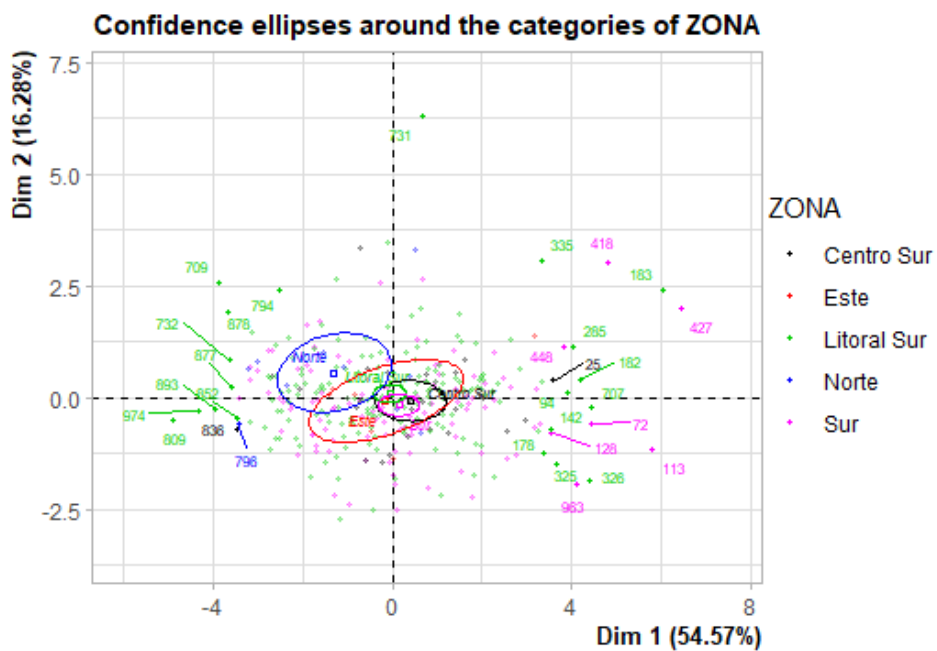


Figura No. 23. Elipses de confianza para la variable "zona" en los ensilajes de maíz



### 4.2.3. Formación de grupos

Se realizó el agrupamiento jerárquico HCPC con el PCA previamente utilizado, es importante resaltar esto ya que en el PCA se tomaron tres componentes principales, la varianza esta explicada por estos componentes, con una variabilidad del 80%, se tomó la base de datos de sorgo y maíz realizándole posteriormente un análisis de clúster con el fin de formar grupos. Para este análisis también se tomó la base de datos omitiendo los datos faltantes. Cabe aclarar que la formación de grupos fue solamente para las variables numéricas, las que comprenden a la composición química de los materiales, por su parte las variables denominadas suplementarias como “zona” y “año” no fueron tomadas en cuenta para la formación de grupos.

#### 4.2.3.1 Sorgo

Se realizaron 4 clúster, siendo este un número de clúster tentativo ya que, si se elige un número mayor de grupos, puede ser complicado en cuanto al tamaño de agrupación al momento de describir, lo mismo si se elige un número de grupos muy pequeño, hay que tratar de encontrar un equilibrio, por esta razón se eligió formar 4 grupos, esto es algo que se elige previamente, el análisis ya te sugiere un número de grupo, dentro de cada grupo se unen los individuos que tienen similitudes (ver figura No. 24).

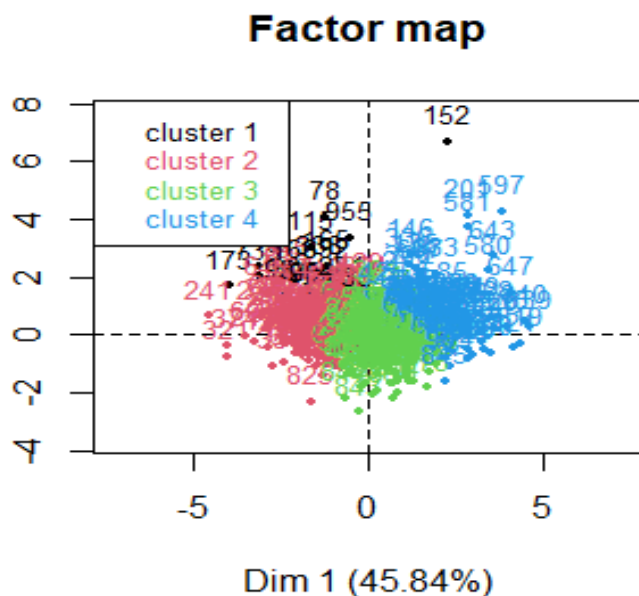


Figura No. 24. Análisis de clúster para sorgo

Cuadro No. 7. Resultados de los agrupamientos según las medias similares de la composición química para ensilaje de sorgo

|                    | <b>GRUPO 1</b> | <b>GRUPO 2</b> | <b>GRUPO 3</b> | <b>GRUPO 4</b> |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>pH</b>          | 4,63           | 3,85*          | 3,73           | 3,84*          |
| <b>Cenizas (%)</b> | 6,02           | 6,04           | 6,56*          | 7,70           |
| <b>FDN (%)</b>     | 47,5           | 47,5           | 54,9           | 62,6           |
| <b>FDA (%)</b>     | 30,7           | 30,2           | 35,3           | 40,7           |
| <b>MS (%)</b>      | 30,3*          | 31             | 28             | 25,4           |
| <b>PB (%)</b>      | 6,65*          | 7,50           | 6              | 6,78*          |
| <b>n</b>           | 19             | 167            | 154            | 90             |

\*valores sin relevancia al momento de formar los grupos, el “n” es el número de muestras dentro de cada grupo

Como se logra ver en el cuadro No. 7 los grupos fueron formados en determinadas categorías según las medias promedios, para el grupo 1 si se observa en conjunto a los cuadros No. 17 y No. 24, se puede notar que fueron materiales que tuvieron problemas de conservación ya que el pH es alto, están más arriba en el eje 2, la PB y la MS no fueron significativas en este grupo. Para el grupo 2 se lo puede considerar como el mejor grupo ya que posee los valores promedios más adecuados dentro de la base de datos, el pH no fue relevante en este grupo, en el grupo 3 son valores intermedios de FDA Y FDN acompañados de un bajo valor de PB, sin relevancia el contenido de cenizas, en cuanto al valor de pH es correcto por lo que se deduce que tuvieron buena conservación los materiales agrupados en esta categoría. Por último, para el grupo 4 se observó que la PB y el pH no son relevantes, además tiene los mayores valores de FDN y FDA.

### Número de agrupamientos sorgo

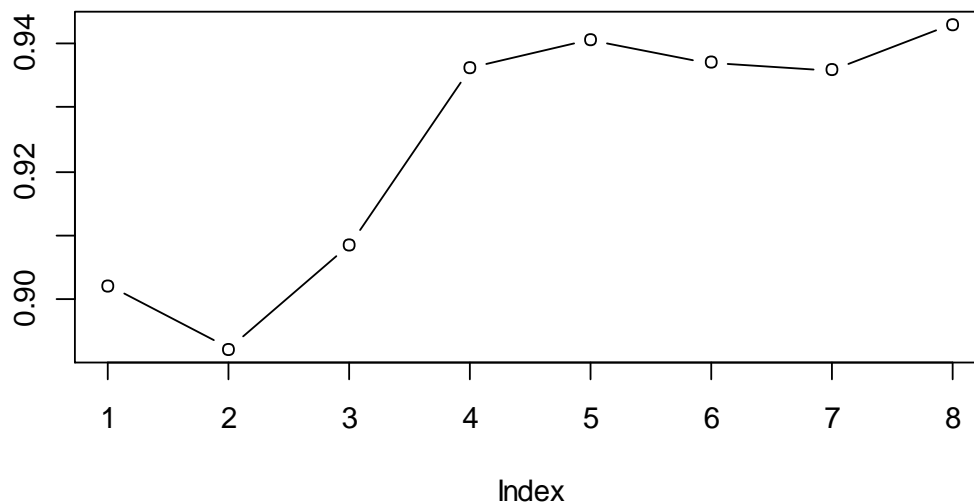


Figura No. 25. Agrupamiento para sorgo

La figura No. 25 refleja como el programa sugiere los 4 grupos, se observa que la curva tiene subidas y bajadas marcadas hasta que llega al número 4, luego de eso tiende a mantenerse constante, la sugerencia de grupos es en base al análisis de clúster tipo jerárquico, en este caso fue clara la definición. Hay un número óptimo según los grupos, el programa lo determina viendo la variabilidad que hay dentro y entre grupos. Variabilidad menor dentro de grupos, y variabilidad mayor entre grupos.

En cuanto a las variables suplementarias como lo son el año y la zona, se observó que para el grupo 1, el año 2013 fue la variable que apareció como única referente allí, la mayoría de las muestras que forman este grupo pertenecen a dicho año, para el grupo 2 los años involucrados fueron 2013, 2016 y 2019, para el grupo 3 los años 2016 y 2019, tomando relevancia también en este grupo la zona litoral Sur y Sur, por último para el grupo 4, los años 2013, 2017 y 2019 aquí también toma relevancia la zona Sur y litoral Sur (ver cuadro No. 8 en anexos).

#### 4.2.3.2. Maíz

Para el maíz las agrupaciones no fueron claras, se decidió por 4 clúster. Como se logra ver en la figura No. 27 no presenta un número de grupo claramente definido, ya que no hay en este caso un agrupamiento natural de los datos. La decisión de grupos en este caso es de tipo pragmática a la investigación, si se aumenta el número de grupos la descripción se hace más compleja. Por eso se decidió por 4 grupos.

## Factor map

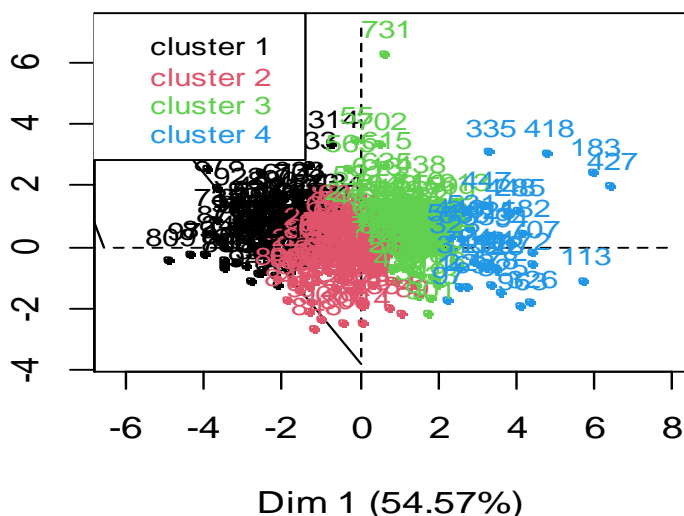


Figura No. 26. Número de clúster para maíz

Cuadro No. 8. Resultados de los agrupamientos según las medias similares de la composición química para ensilaje de maíz

|                    | <b>GRUPO 1</b> | <b>GRUPO 2</b> | <b>GRUPO 3</b> | <b>GRUPO 4</b> |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>MS (%)</b>      | 38,9           | 32,6*          | 30,3           | 27             |
| <b>Almidón (%)</b> | 35,2           | 28,9           | 23,6           | 15             |
| <b>pH (%)</b>      | 3,90           | 3,70           | 3,84           | 3,83*          |
| <b>PB (%)</b>      | 7,40           | 7,30           | 8,15           | 8,10           |
| <b>Cenizas (%)</b> | 4,60           | 4,90           | 5,60           | 6,40           |
| <b>FDN (%)</b>     | 36,6           | 40,8           | 44,1           | 50,9           |
| <b>FDA (%)</b>     | 21             | 23,7           | 25,6           | 29,6           |
| <b>n</b>           | 89             | 99             | 108            | 34             |

\*valores sin relevancia al momento de formar los grupos, el “n” es el número de muestras dentro de cada grupo

Para el caso maíz, observando el cuadro No. 8 en conjunto con la figura No. 26, se puede ver que se agruparon en 4 grupos, esta agrupación se eligió así ya que no era muy claro a momento de definirlos, se debía elegir un número que sea equilibrado al momento del análisis, siendo este no muy grande ni tampoco pequeño (ver figura No. 27). Describiendo los grupos se pudo observar que para el clúster 1 todas las variables fueron significativas con buenos valores para las mismas, lo mismo para el clúster 2, no siendo relevante en este grupo la MS, se puede considerar a los dos como los mejores en

esta agrupación. El clúster 3 es un intermedio entre el mejor grupo y el peor, ya que tiene valores intermedios entre los extremos, y por último para el clúster 4 se observó un contenido de MS relativamente bajo, también tiene poco almidón y mucha FDN y FDA, mientras que el pH es irrelevante en este grupo.

### Número de agrupamientos Maíz

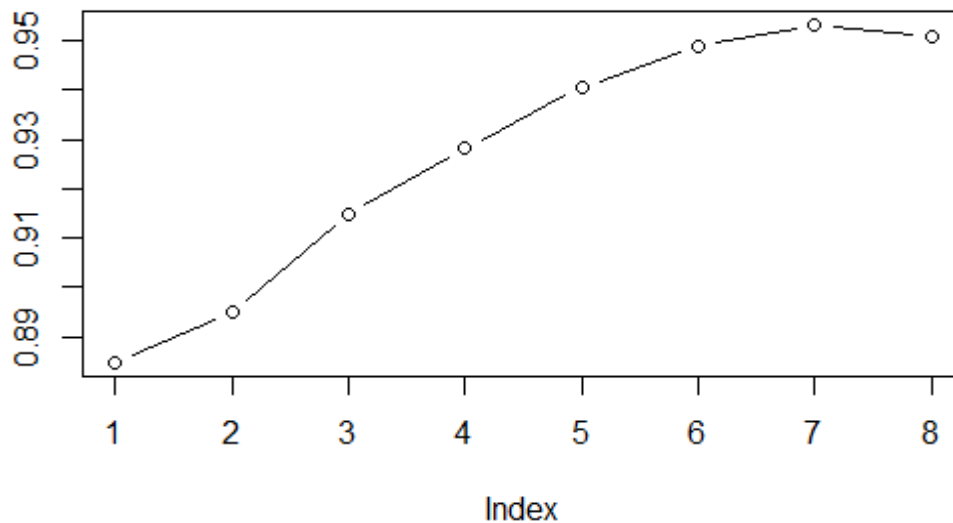


Figura No. 27. Número de grupos para maíz

Por otro lado, las variables suplementarias como lo son el año y la zona si bien no forman parte de la agrupación al momento de formar los grupos, estas tienen relevancia. Para el grupo 1 las muestras que conforman este grupo son del año 2013, 2015, 2019 y de la zona Norte del país. Para el grupo 2 solamente la variable año, siendo estos el 2016 y 2019. El grupo 3 lo conforman los años 2016, 2017 y 2019. Y por último para el grupo 4 los años 2013 y 2019 (ver cuadro No. 9 en anexos).

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados demostraron que hay efecto año, las condiciones climáticas juegan un papel muy importante a la hora de definir la calidad de los ensilajes ya que el comportamiento de los cultivos de maíz y sorgo está muy relacionado al contenido de agua en el suelo durante el crecimiento de los mismos.

Respecto al efecto cultivar, este no pudo ser evaluado ya que la distribución de los mismos en la base de datos fue escasa, y no permitió hacer una evaluación sobre esto.

Al comparar los resultados de la composición química de los ensilajes concurso con valores de referencia de las tablas NRC (2001), FEDNA (2016), se observó que para mismos valores de MS los datos del concurso no están muy diferentes a los referentes, por lo que se puede concluir que la mayoría de los ensilajes de concurso son de buena calidad, existiendo alguna excepción donde se dan ensilajes con problemas de conservación.

Existen diferencias entre especies para la composición química, los ensilajes de sorgo presentaron un mayor contenido promedio de FDN, FDA, que los silos de maíz, lo mismo con el contenido de cenizas, fue mayor para los silos de sorgo. En cuanto al contenido de PB, esta fue mayor para los silos de maíz. Por otro lado, el pH no vario mucho en ambas especies, si existe alguna diferencia notoria fue por una mala conservación del ensilaje, lo que determina valores más altos de pH. Esto coincide con la revisión bibliográfica.

Para las agrupaciones se tomó en cuenta las variables numéricas (composición química), el programa sugiere un número de grupos con el fin de tener un equilibrio al momento del análisis, para el sorgo fue bien claro, mientras que para el maíz no lo fue, se tomó una decisión de tipo pragmática evitando así posibles complicaciones al momento de analizar. Como se observó en los cuadros No. 7 y No. 8 el mayor número de muestras dentro de cada especie se encuentran dentro de los mejores grupos, aquellos que presentan buenos indicadores de calidad nutritiva y de conservación.

La información con la que se contó para este trabajo, es información de varios concursos realizados, lo que permitió solamente realizar un análisis descriptivo de los resultados obtenidos en cada concurso. Algo importante a resaltar en este trabajo, es la escasa organización de la información recabada de cada material que ingresaba al laboratorio para ser analizado, y la falta de información en las planillas para poder hacer un análisis completo.

## 6. RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo identificar las relaciones entre calidad de ensilaje de maíz y sorgo según las variables año, genotipos, zona y composición química. Se trabajó con una base de datos que reúne información de concursos de ensilajes de maíz y sorgo que se realizaron desde el año 2013 hasta el año 2019 por parte de las empresas Prolesa, Nutral (quien ahora lleva el nombre de Agrifirm, por cambio de firma desde el 2017) y CONAPROLE. Dicho concurso se realizó en un principio para evaluar la calidad de los ensilajes de los tambos que remitían leche a CONAPROLE, para posteriormente poder generar buenas prácticas de manejo para los ensilajes. Se realizó un análisis descriptivo a los resultados obtenidos por los concursos con el fin de identificar las posibles relaciones entre la calidad de los mismos y las variables correspondientes. Se pudo observar que hay efecto año, el cual hace variar la composición química de los ensilajes obteniendo resultados diferentes. Por el contrario, no se pudo evaluar el efecto cultivar, ya que fue escasa la distribución de los mismos en la base de datos. En cuanto a las zonas, estas fueron agrupadas en cinco; centro Sur, Sur, litoral Sur, Este y Norte. Se determinó así para poder realizar los análisis. Se pudo observar que el mayor número de muestras proviene del litoral Sur y Sur del país, mientras que el menor número de muestras proviene del Norte y Este del país. Como último análisis se realizó el agrupamiento jerárquico HCPC con el PCA previamente realizado, para el caso del sorgo la formación de grupos fue clara, no siendo así para el caso del maíz. Se recomienda un número de grupos no tan grande ni tampoco pequeño, que sea equilibrado para poder hacer un correcto análisis, el mayor número de muestras dentro de cada especie se encuentran dentro de los mejores grupos, aquellos que presentan buenos indicadores de calidad nutritiva y de conservación. Para todo lo anterior cabe aclarar que la información con la que se contó no estaba completa, por lo cual, dificultó el proceso de análisis y también los resultados obtenidos fueron considerando un número menor de muestras, las cuales si tenían información completa.

Palabras clave: Ensilajes; Calidad de ensilaje; Concursos; Agrupamiento jerárquico.

## 7. SUMMARY

The objective of this work was to identify the relationships between quality of maize and sorghum silage according to the variable's year, genotypes, zone and chemical composition. We worked with a database that gathers information on corn and sorghum silage contests that were carried out from 2013 to 2019 by the companies Prolesa, Nutral (which now bears the name of Agrifirm, due to a change of signature since 2017) and CONAPROLE. This contest was held initially to evaluate the quality of the silage from the dairy farms that sent milk to CONAPROLE, in order to later be able to generate good management practices for silage. A descriptive analysis of the results obtained by the contests was carried out in order to identify the possible relationships between their quality and the corresponding variables. It was observed that there is a year effect, which makes the chemical composition of the silages vary, obtaining different results. On the contrary, the cultivar effect could not be evaluated, since their distribution in the database was scarce. As for the zones, these were grouped into five; south center, south, south coast, east and north. This was determined in order to perform the analyses. It was observed that the largest number of samples comes from the South and South coast of the country, while the smallest number of samples comes from the North and East of the country. As a last analysis, the HCPC hierarchical grouping was carried out with the PCA previously carried out, for the case of sorghum the formation of groups was clear, but not so for the case of maize. A number of groups that is not too large or too small is recommended, which is balanced in order to carry out a correct analysis, the largest number of samples within each species are found within the best groups, those that present good indicators of nutritional quality and conservation. For all of the above, it should be clarified that the information available was not complete, which made the analysis process difficult and also the results obtained were considering a smaller number of samples, which did not have complete information.

Keywords: Silages; Silage quality; Contests; Hierarchical grouping.



## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Adebayo, M. A.; Menkir, A.; Blay, E.; Gracen, V.; Danquah, E.; Hearne, S. 2014. Análisis genético de la tolerancia a la sequía en cruces adaptados x exóticos de líneas endogámicas de maíz en condiciones de estrés controlado. (en línea). *Euphytica*. 196:261-270. Consultado jul. 2021. Disponible en doi: 10.1007 / s10681-013-1029-5
2. Alaniz, V. O. 2008. Adición de residuo de la industria cervecera al ensilaje de maíz como alternativa de forraje para ganado. Tesis Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental. Durango, México. Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Regional Durango. pp. 1-35.
3. Alessandria, E. 1988. La humedad del suelo y su incidencia sobre la implantación del sorgo granífero. *Revista de Ciencias Agropecuarias*. 6:90-95.
4. Andrade, F. H.; Uhart, S.; Arguissain, G. 1991. Rendimiento potencial de maíz en Balcarce: análisis de los factores que lo determinan. INTA. Boletín Técnico no. 101. 11 p.
5. \_\_\_\_\_. 1992. Radiación y temperatura determinan los rendimientos máximos de maíz. INTA. Boletín Técnico no. 106. 16 p.
6. \_\_\_\_\_.; Cirilo, A.; Uhart, S.; Otegui, M. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Balcarce, Buenos Aires, La Barrosa. 292 p.
7. Antelo, J. F.; Mermot, C. A. 1988. Efecto de la densidad y la distribución en el cultivo de sorgo granífero. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 102 p.
8. AOAC (Association of Official Analytical Chemists, US). 1990. Methods of analysis of the official association of analytical chemistry to determine moisture, fiber, ash, fat and protein Washington, USA. s.p.
9. Araus, J. L.; Sánchez, C.; Cabrera-Bosquet, L. 2010. Is heterosis in maize mediated through better water use? (en línea). *New Phytologist*. 187:392-406. Consultado ago. 2021. Disponible en doi:10.1111/j.1469-8137.2010.03276.x
10. Argamentería, G. A.; De La Roza, B.; Sánchez, L.; Martínez, A. 1997. El ensilado en Asturias. Asturias, España, Centro de Investigación Aplicada y Tecnología Agroalimentaria. 127 p.

11. Ashbell, G.; Weinberg, Z. G.; Azrieli, A.; Hen, Y.; Horev, B. 1990. A simple system to study the aerobic determination of silages. Technical Notes. Winnipeg, Canadian Agricultural Engineering. pp. 391-393.
12. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2001. Ensilaje de cereales y cultivos forrajeros en el trópico. In: Conferencia Electrónica sobre el Ensilaje en los Trópicos (2001, s.l.). Uso del ensilaje en el trópico privilegiando opciones para pequeños campesinos. Roma, FAO. pp. 111-119 (Estudio FAO. Producción y Protección Vegetal no. 161).
13. Boerger, A. 1928. Observaciones sobre agricultura: quince años de trabajos fitotécnicos en el Uruguay. Montevideo, Imprenta Nacional. s.p.
14. Bonhomme, R. 1985. Application des sommes de temperature a l'étude des durees de phase chez le maïs. In: Semaine de Formation sur Les Bases de la Bioclimatologie (2ème., 1985, Méribel). Articles présentés. Paris, INRA. pp. 199-203.
15. Braunack, M. V. 1995. Effect of aggregate size and soil water content on emergence of soybean (*Glycine max* L. Merr.) and maize (*Zea mays* L.). Soil and Tillage Research. 33(3-4):149-161.
16. Brihet, J.; Gayo, S. 2016. Análisis regional y adaptación de tecnologías. (en línea). Rosario, Argentina, Bolsa de Cereales. Departamento de Investigación y Prospectiva. s.p. Consultado ago. 2021. Disponible en <https://www.bolsadecereales.com/>
17. \_\_\_\_\_. 2017. Lanzamiento campaña gruesa 2017-2018. (en línea). Pergamino, Argentina, Bolsa de Cereales. Departamento de Investigación y Prospectiva. s.p. Consultado ago. 2021. Disponible en <http://www.bolsadecereales.com>
18. Cairns, J. E.; Sonder, K.; Zaidi, P. H.; Verhulst, N.; Mahuku, G.; Babu, R.; Prasanna, B. M. 2013. Maize production in a changing climate: impacts, adaptation and mitigation strategies. (en línea). Advances in Agronomy. 114:1-65. Consultado oct. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394275-3.00006-7>
19. Callejo, A. 2018. Conservación de forrajes (v): fundamentos del ensilado. (en línea). Madrid, España, Frisona Española. pp. 70-78. Consultado 7 jun. 2021. Disponible en

<https://www.revistafrisona.com/Noticia/conservacion-de-forrajes-v-fundamentos-del-ensilado>

20. Camargo, M.; Hubbard, K. 1999. Spatial and temporal variability of daily weather variables in sub-humid and semi-arid areas of the United States high plains. *Agricultural and Forest Meteorology*. 93:141-148.
21. Cañete, M. V.; Sancha, J. L. 1998. Ensilado de forrajes y su empleo en la alimentación de rumiantes. (en línea). Madrid, Mundi-Prensa. pp. 257-260. Consultado set. 2021. Disponible en <https://mydokument.com/ensilado-de-forrajes-y-su-empleo-en-la-alimentacion-de-rumiantes.html>
22. Carámbula, M. 1977. Producción y manejo de pasturas sembradas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. pp. 241-245.
23. Carrasco, N.; Zamora, M.; Melin, A. 2011. Manual de sorgo. Buenos Aires, INTA. 112 p.
24. Challinor, A. J.; Koehler, A. K.; Ramírez-Villegas, J.; Whitfield, S.; Das, B. 2016. Current warming will reduce yields unless maize breeding and seed systems adapt immediately. (en línea). *Nature Climate Change*. 6:954-958. Consultado nov. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.1038/nclimate3061>
25. Church, D.; Pond, W. 1977. Bases científicas para la nutrición y alimentación de los animales domésticos. Zaragoza, Acribia. 462 p.
26. Claassen, M. M.; Shaw, R. H. 1970. Water deficit effects on grain: II Grain components. *Agronomy Journal*. 62:652-655.
27. Cota, S.; Peregalli, A. 2006. Caracterización de sorgos graníferos y “bmr” para ensilar. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Universidad de la República. Facultad de Agronomía. 69 p.
28. Daryanto S.; Wang, L.; Jacinthe, P. A. 2016. Síntesis global de Efectos de la sequía en la producción de maíz y trigo. (en línea). *PLOS ONE*. 11(5):e0156362. Consultado feb. 2021. Disponible en <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0156362>

29. Deatherage, W. L.; Mac Masters, M. M.; Vineyard, M. L.; Bear, R. P. 1954. A note on starch of high amylose content from corn with high starch content. *Cereal Chemistry (USA)*. 31:50-52.
30. De la Roza, B. 2005. El ensilado en zonas húmedas y sus indicadores de calidad. *In: Jornadas de Alimentación Animal (4<sup>as.</sup>, 2005, Pontevedra)*. Memorias. Pontevedra, España, s.e. pp. 12-20.
31. De León, J. L. 1969. Maíz: manejo y selección. *In: Jornada de Cultivos (1969, La Estanzuela, Colonia)*. Memorias. Montevideo, Uruguay, CIAAB. pp. 17-31.
32. Di Marco, O. N. 2013. Características de los ensilajes de maíz y sorgo. Ni mejores, ni peores, de acuerdo a las circunstancias debemos evaluar la mejor opción. (en línea). *Producir XXI (Buenos Aires)*. 21(265):20-28. Consultado ago. 2021. Disponible en <http://www.produccion-animal.com.ar/>
33. Doggett, H. 1988. *Sorghum*. New York, Wiley. pp. 200-266.
34. Fahad, S.; Bajwa, A. A.; Nazir, U.; Anjum, S. A.; Farooq, A.; Zohaib, A. 2017. Producción de cultivos bajo sequía y estrés por calor: respuestas de las plantas y opciones de manejo. Parte delantera. (en línea). *Plant Science*. 8:1-16. Consultado may. 2021. Disponible en doi: 10.3389 / fpls.2017.01147.
35. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, IT). FAOSTAT: superficie y rendimiento de maíz y sorgo en el Uruguay en el 2019. (en línea). Roma. s.p. Consultado oct. 2021. Disponible en <https://www.fao.org/faostat/es/#search/superficie%20sembrada%20de%20maiz%20en%20uruguay>
36. Farré, I.; Faci, J. M. 2006. Respuesta comparativa de maíz (*Zea mays* L.) y sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) para regadíos deficitarios en un medio mediterráneo. (en línea). *Agricultural Water Management*. 83:135-143. Consultado abr. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.11.001>
37. FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, ES). 2021. Tablas FEDNA, composición de alimentos, valor nutritivo. (en línea). Madrid. s.p. Consultado set. 2021. Disponible en <https://www.fundacionfedna.org/>

38. Fischer, K. S.; Palmer, A. F. E. 1984. Tropical maize. *In*: Goldsworthy, P. R.; Fisher.; N. M. eds. The physiology of tropical field crops. New York, NY, USA, Wiley. pp. 213-248.
39. Flores, F.; Parodi, B. 2011. Maíces Bt: manejo de la resistencia de los insectos blanco y nuevos eventos disponibles. Córdoba, INTA. 5 p.
40. Gallardo, M. 2008. Aspectos relacionados al manejo nutricional. *In*: Forrajes conservados de alta calidad y aspectos relacionados al manejo nutricional. Córdoba, INTA. pp. 287-319.
41. Gambin, B. L.; Coyos, T.; Di Mauro, G.; Borrás, L.; Garibaldi, L. A. 2016. Exploring genotype, management, and environmental variables influencing grain yield of late-sown maize in central Argentina. (en línea). *Agricultural Systems*. 146:11-19. Consultado jun. 2021. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X16300518?via%3Dihub>
42. Garcés Molina, A.; Berrio Roa, L.; Ruiz Alzate, S. 2004. Ensilaje como fuente de alimentación para el ganado. *Revista Lasallista de Investigación*. 4(1):66-71.
43. Giménez, L. 2012. Producción de maíz con estrés hídrico provocado en diferentes etapas de desarrollo. *Agrociencia (Uruguay)*. 16(2):92-102.
44. Goering, M. K.; Van Soest, P. J. 1970. Forage Fiber Analysis: an Apparatus, Reagents, Procedures and some Applications. Washington, D. C., USDA. Agricultural Research Services. pp. 387-598 (Agricultural Handbook no. 379).
45. Gourley, L. M.; Creech, R. G. 1980. Carbohydrates and lipids in food and feed grain crops. (en línea). *Agronomy Journal*. 5:113-138. Consultado ago. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.2135/1980.cropquality.c5>
46. Grant, R. J.; Haddad, S. G.; Moore, K. J.; Pedersen, J. F. 1995. Brown midrib sorghum silage for midlactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 78:1970-1980.
47. Guevara, E.; Cartaya, H. 1991. Hidrología: una introducción a la ciencia hidrológica aplicada. Valencia, Venezuela, GUECA. pp. 22-36.

48. Haaland, R. L. 1980. Food and feed grain crops. (en línea). American Society of Agronomy. 1:3-33. Consultado ago. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.2135/1980.cropquality.c1>
49. Honig, H.; Woolford, M. K. 1980. Changes in silage on exposure to air. *In:* Thomas, C. ed. Forage Conservation in the 80s. Hurley, UK, British Grassland Society. pp. 76-87.
50. INIA. GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Unidad de Agro-clima y Sistemas de Información, UY). 2021. Mapas de precipitación acumulada (2013-2019). (en línea). Montevideo. s.p. Consultado nov. 2021. Disponible en <http://www.inia.uy/gras/Clima/Precipitaci%C3%B3nacional/Mapas-de-precipitaci%C3%B3n-acumulada>
51. Jobim, C.; Nussio, L. 2007. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem canservada. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 36:101-119.
52. Labella, S. 1976. Manejo del maíz en secano en el Noreste uruguayo. *In:* Cultivos de Verano en el Noreste (1976, Montevideo). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 5-20 (Serie Técnica no. 15).
53. Le, S.; Josse, J.; Husson, F. 2008. FactoMineR: an R Package for Multivariate Analysis. (en línea). *Journal of Statistical Software*. 25(1):1-18. Consultado jun. 2021. Disponible en <https://www.jstatsoft.org/v25/i01/>
54. McDonald, P. 1981. The biochemistry of silage. Chichester, UK, Wiley. 226 p.
55. \_\_\_\_\_; Henderson, A. R.; Heron, S. 1991. The biochemistry of silage. 2<sup>nd</sup>. ed. Marlow, Chalcombe. 340 p.
56. Martínez, A.; Argamentería, A.; Begoña, R. 2014. Manejo de ensilajes para ensilar. (en línea). Avilés, Asturias, SERIDA. 280 p. Consultado jun. 2021. Disponible en <http://www.serida.org/publicacionesdetalle.php?id=6079>
57. Mason, S. C.; Kathol, D.; Eskridge, K. M.; Galusha, T. D. 2008. El aumento de rendimiento ha sido mayor para el maíz que para el sorgo en grano. (en línea). *Crop Science*. 48:1560-1568. Consultado set. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.2135/cosechasci2007.09.0529>

58. Medina, M.; Abadie, T.; Vilaró, D.; Ceretta, S. 2001. Estudio metodológico de adaptación de cultivares de maíz para silo a las condiciones de Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*. 5(1):23-31.
59. Milford, R.; Haydock, K. P. 1965. The nutritive value of proteinin subtropical pastures species grown in South east Queensland. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 5:13-17.
60. Molfino, J. H.; Califra, A. 2001. Agua disponible de las tierras del Uruguay: segunda aproximación. (en línea). Montevideo, MGAP. DGRNR. 12 p.
61. Muchow, R. C. 1989. Comparativity of maize, sorghum and pearl millet in a semi-arid tropical environment II. Effect of water deficits. (en línea). *Field Crops Research*. 20:191-205. Consultado jul. 2021. Disponible en [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(89\)90079-8](https://doi.org/10.1016/0378-4290(89)90079-8)
62. NRC (National Research Council, US). 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th. rev. ed. Washington, D. C., National Academic Press. 381 p.
63. Otegui, M. E.; Andrade, F. H.; Suero, E. E. 1995. Growth, water use, and kernel abortion of maize subjected to drought at silking. *Field Crops Research*. 40(2):87-94.
64. Paliwal, R. L. 2001. Morfología del maíz tropical. (en línea). Roma, s.e. pp. 21-28. Consultado jul. 2021. Disponible en <https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/el-maiz-en-los-tropicos.pdf>
65. Parra, G.; Borrás, L.; Gambien, B. 2020. El progreso genético a largo plazo del maíz explica el dominio actual sobre el sorgo en Argentina. (en línea). Rosario, s.e. 10 p. Consultado mar. 2021. Disponible en <https://www.elsevier.com/locate/eja>
66. Pendleton, J. W. 1979. Cropping practices. *In*: Maize. Basel, Ciba-Geigy. Agrochemicals. p. 3.
67. Peters, D. B.; Pendleton, J. W.; Hageman, R. H.; Brown, C. M. 1971. Effect of night air temperature on grain yield of corn, wheat, and soybeans. *Agronomy Journal*. 63:809-830.
68. R Core Team. 2021. R: a language and environment for statistical computing. (en línea). Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing. 162 p. Consultado oct. 2021. Disponible en <https://www.R-project.org/>

69. Ritchie, S. W.; Hanway, J. J.; Benson, G. O. 1986. How a corn plant develops. Iowa State University. Special report no. 48. 21 p.
70. Santibañez, Q. F.; Fuenzalida, P. 1992. Modelos ecofisiológicos para el análisis de los potenciales de producción del maíz. In: Congreso Nacional de Maíz (5°.), Reunión Sudamericana (2°., 1992 Pergamino). Conferencias. Pergamino, A.I.A.N.B.A. s.p.
71. Sawchik, J.; Ceretta, S. 2005. Consumo de agua por sojas de distintos grupos de madurez en diferentes ambientes de producción. Montevideo, INIA. pp. 41-51.
72. Shaw, R. H. 1988. Climatic requirement. In: Sprague, G. F.; Dudley, J. W. eds. Corn and corn improvement. 3<sup>rd</sup>. ed. Madison, Wisconsin, ASA. pp. 609-638 (Agronomy no. 18).
73. Singh, B. R.; Singh, D. P. 1995. Agronomic and physiological responses of sorghum maize and pearl millet to irrigation. *Field Crops Research*. 42:57-67.
74. Sprague, G. F.; Brimhall, B.; Hixon, R. M. 1943. Some effects of waxy gene in corn properties of the endosperm starch. *Journal of the American Society of Agronomy*. 35:817-822.
75. Vanderlip, R. L.; Reeves, H. E. 1972. Growth stages of sorghum. *Agronomy Journal*. 64:13-17.
76. Van Olphen, P.; Dalla Valle, D.; Ferrero, J.; Gutiérrez, L. M.; Viviani Rossi, E. 2004. Maíz: contenido de granos y calidad del silaje. (en línea). Buenos Aires, s.e. 3 p. Consultado ago. 2021. Disponible en [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_reservas/reservas\\_silos/147-maiz.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/147-maiz.pdf)
77. Van Soest, P. J.; Wine, R. H. 1967. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. 4. Determination of plant cell-wall constituents. *Journal of Association of Official Analytical Chemists*. 50:50-55.
78. Weinberg, Z. G.; Muck, R. E. 1996. New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. *FEMS Microbiology Reviews*. 19(1):53-68.



79. Wright, G.; Smith, R. 1983. Diferencias entre dos genotipos de sorgo de grano en adaptación al estrés por sequía. II. Consumo de agua de raíz y uso de agua. (en línea). Australian Journal of Agricultural Research. 34:627-636. Consultado jul. 2021. Disponible en <https://doi.org/10.1071/AR9830627>
80. Zamora, M.; Melin, A.; Balda, S. 2010. Manejo del cultivo de sorgo: efecto de la densidad y la fertilización. In: Carrasco, N.; Zamora, M.; Melin, A. eds. Cosecha gruesa 2009/10: actualización técnica. Buenos Aires, INTA. pp. 81-83.
81. Zuber, M. S.; Crogan, C. O.; Mac Masters, M. M.; Majel, M. 1960. Chemical composition of kernel fractions of corn samples varying in amilose content. Agronomy Journal. 52:572-575.

## 9. ANEXOS

Cuadro No. 1. Cultivares de sorgo evaluados en el período 2013-2019

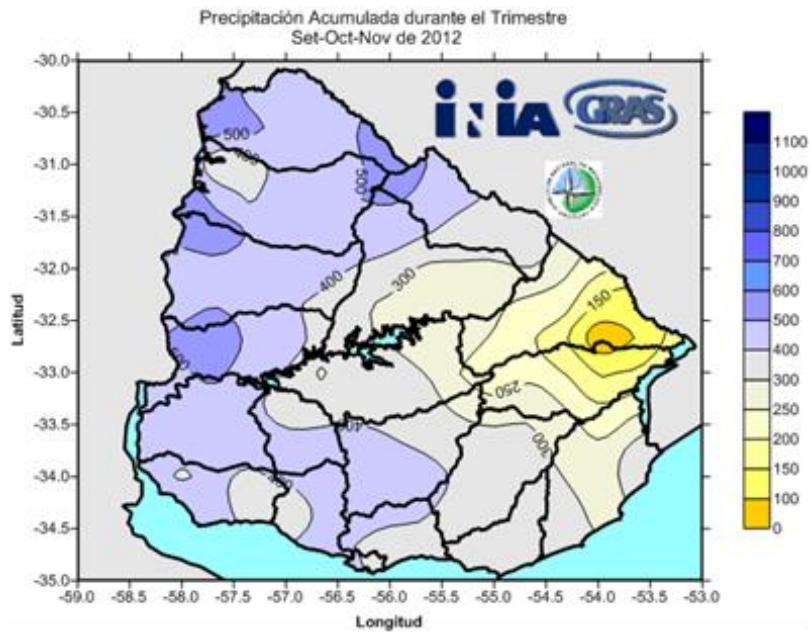
| CULTIVARES SORGO     |                             |                           |                              |
|----------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------------|
| ACA 485              | ACA 730+BMR<br>1000         | DK 68                     | PADRILLO+<br>DAIRY MASTER II |
| ACA 548              | ACA 748                     | DOW 108                   | PAMPA AZUCAR                 |
| ACA 558              | ACA 764                     | DUO 560                   | P 2069 YR                    |
| ACA 561              | ACA 785                     | FLASH 1                   | P 8419                       |
| ACA 562              | ADV 2499                    | F 1405 BMR                | SILAGE KING                  |
| ACA 563              | ADV 2900                    | F 1200 BMR                | SILERO 3785                  |
| ACA 710<br>BMR       | BMR 1000                    | F 1200 BMR+ F<br>1400 BMR | SEMENTAL                     |
| ACA 711<br>BMR       | BMR 2000                    | HONEY GRAZE               | SUDANGRASS                   |
| ACA 710+<br>ACA 711  | BMR<br>TRINCHERA            | HONEY MAX                 | SUGARGRAZE                   |
| ACA 710<br>BMR+FLASH | BMR AGT                     | GREEN<br>SUPREMO MAX      | SUGAR GREEN                  |
| ACA 715              | CANDY GRAZE                 | INTA PEMAN                | SUPER<br>GAUCHAZO            |
| ACA 720              | CANDY MAX                   |                           | TORO 2                       |
| ACA 727              | CARILAUQEUN                 | KM 3601 MG RR             |                              |
| ACA 729              | CERES                       | MG 880                    |                              |
| ACA 730 +<br>ACA 715 | DAIRY MASTER<br>II          | NUGRASS 900 F             |                              |
| ACA 730              | DAIRY MASTER<br>II+ ACA 727 | PADRILLO                  |                              |

Cuadro No. 2. Cultivares de maíz evaluados en el período 2013-2019

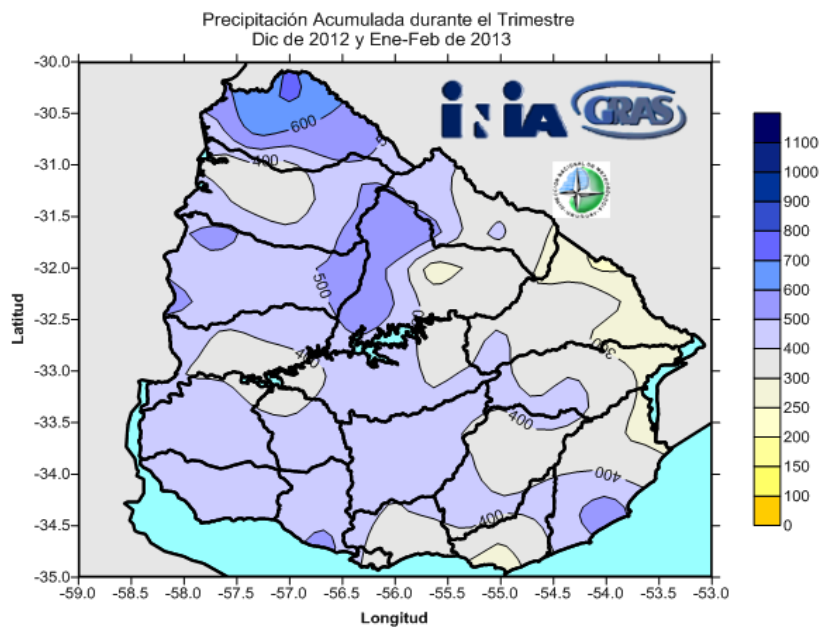
| CULTIVARES MAÍZ      |                    |                  |              |
|----------------------|--------------------|------------------|--------------|
| ACA 417              | AX 882             | IPB 2880 MG RR   | NK 860       |
| ACA 427              | AX 7822            | IPB 2881 MG RR   | NK 875       |
| ACA 457              | AX 7918            | IPB 2890         | NK 907 TD TG |
| ACA 458              | BLANCO CANGÜÉ      | IPB 2893         | NK 900       |
| ACA 467              | DK 72              | IPB 3785         | NS 7818      |
| ACA 467 +<br>ACA 200 | DK 190             | IPB 3790         | P 28         |
| ACA 468              | DK 670             | KWS 3600         | P 1833       |
| ACA 470              | DK 692             | KWS 3601         | P 1815       |
| ACA 472              | DK 747             | KWS 3800         | P 2058       |
| ACA 480              | DK 907             | KWS 4321         | P 2069       |
| ACA 485              | DK 72 10 MG RR2    | KWS 4360         | SILERO 3785  |
| ACA 498              | DUO 28 PW          | KM 4500 GL       | SILERO 3790  |
| ACA 742              | DUO 560            | LIMAGRAIN 30.820 | T 151        |
| ACA 747              | ESCARLATA BT<br>RG | LT 622           | PW 510       |
| ACA 785              | IPB 880            | MORGAN DUO 30    | SYN 979      |
| ACA 2001             | IPB 2860 MG RR     | NK 840           | 30B 39HR     |

Figuras de precipitaciones acumuladas, período 2013-2019 para los meses oct.-nov.-dic. y dic.-ene.-feb.

Período 2012-2013

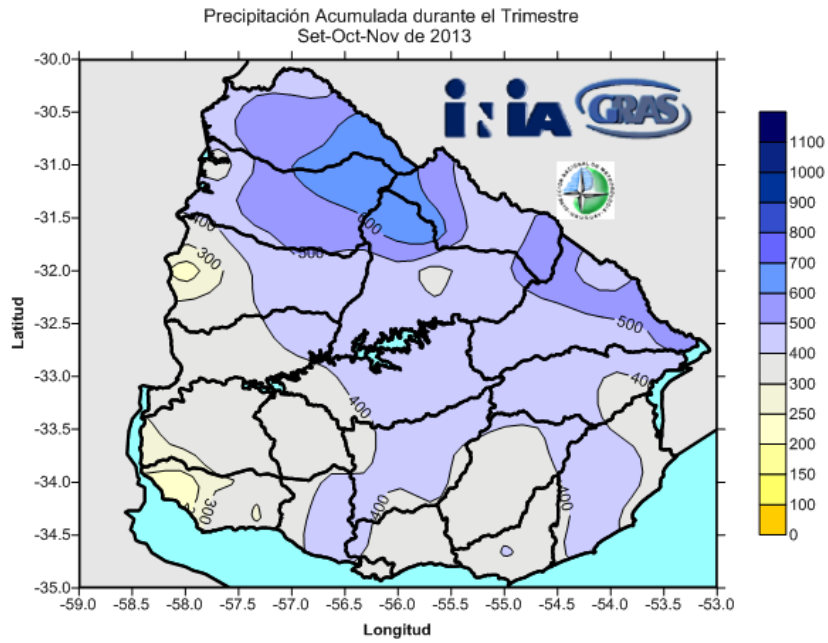


Fuente: tomado de INIA. GRAS (2021).

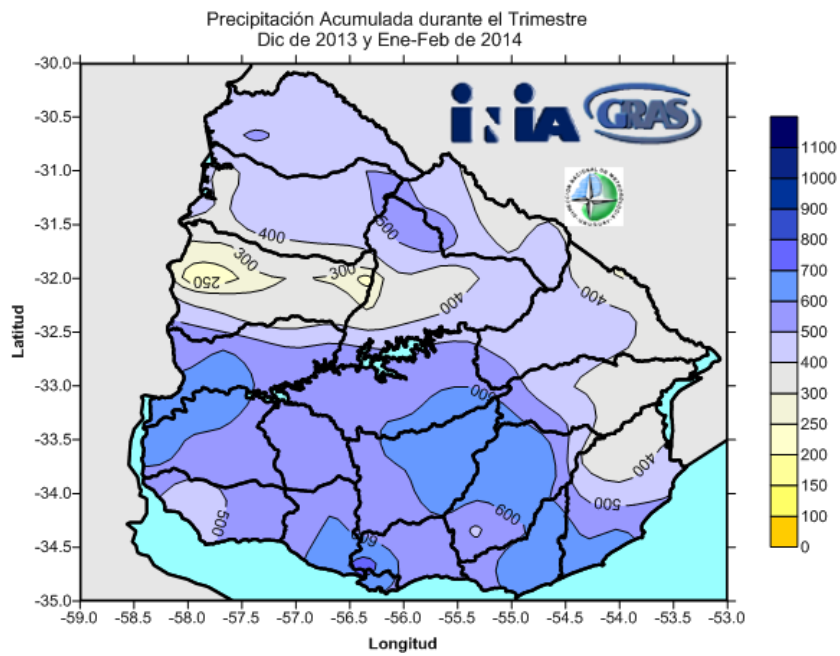


Fuente: tomado de INIA. GRAS (2021).

Período 2013-2014

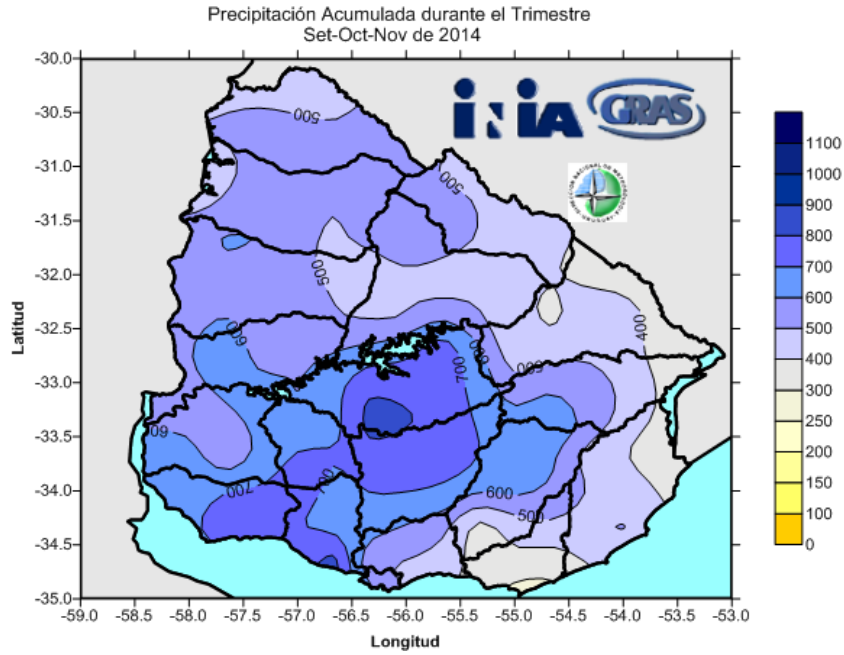


Fuente: tomado de INIA. GRAS (2021).

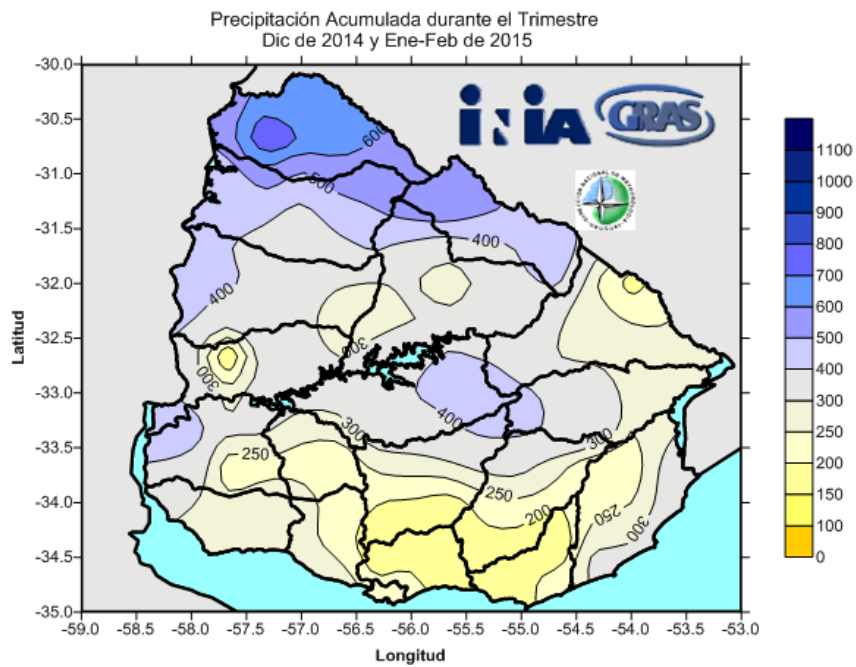


Fuente: tomado de INIA. GRAS (2021).

Período 2014-2015

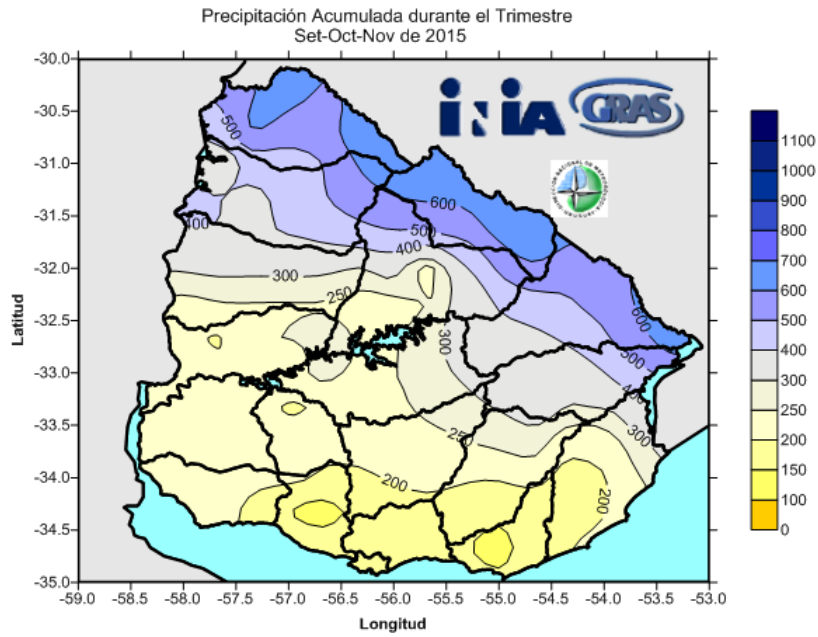


Fuente: tomado de INIA. GRAS (2021).

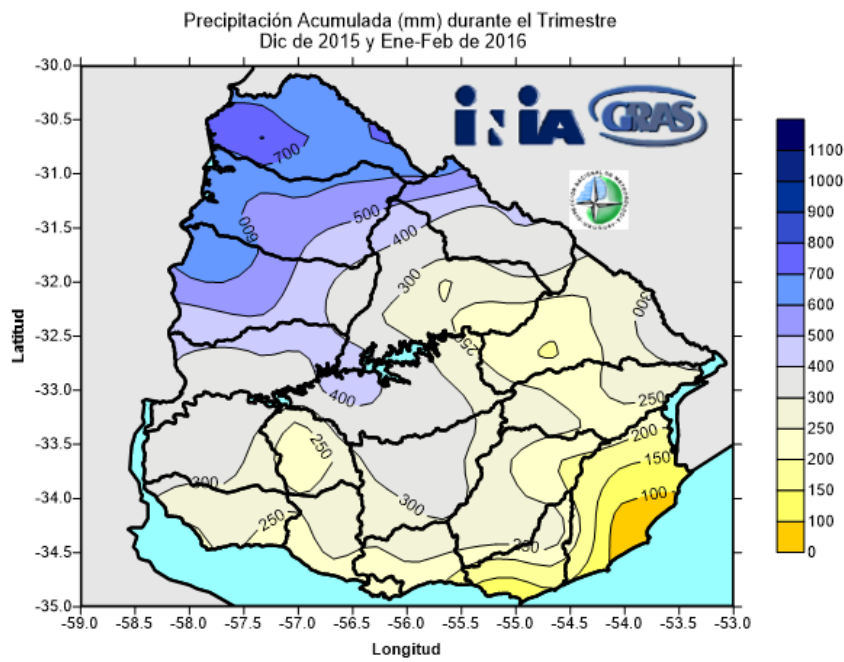


Fuente: tomado de INIA. GRAS (2021).

Período 2015-2016

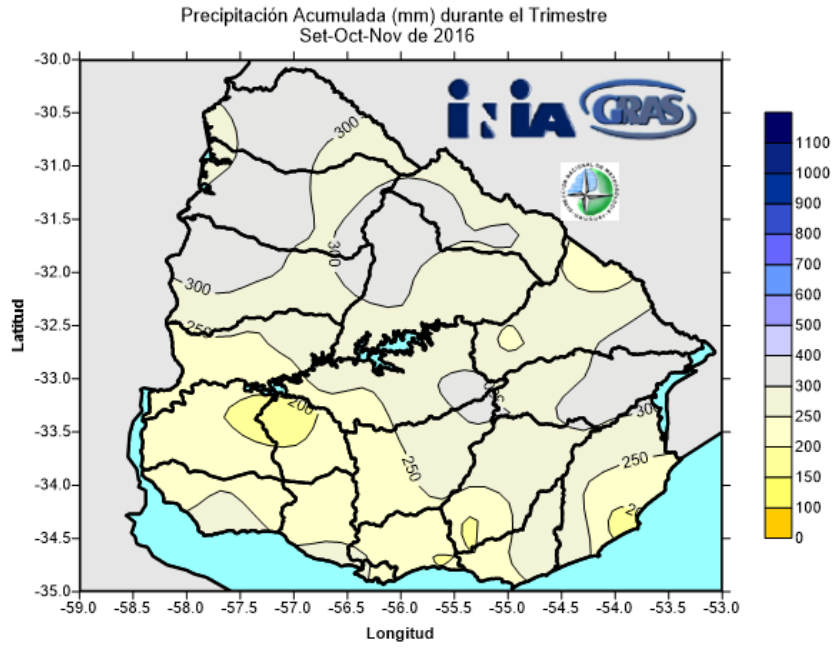


Fuente: tomado de INIA. GRAS (2021).

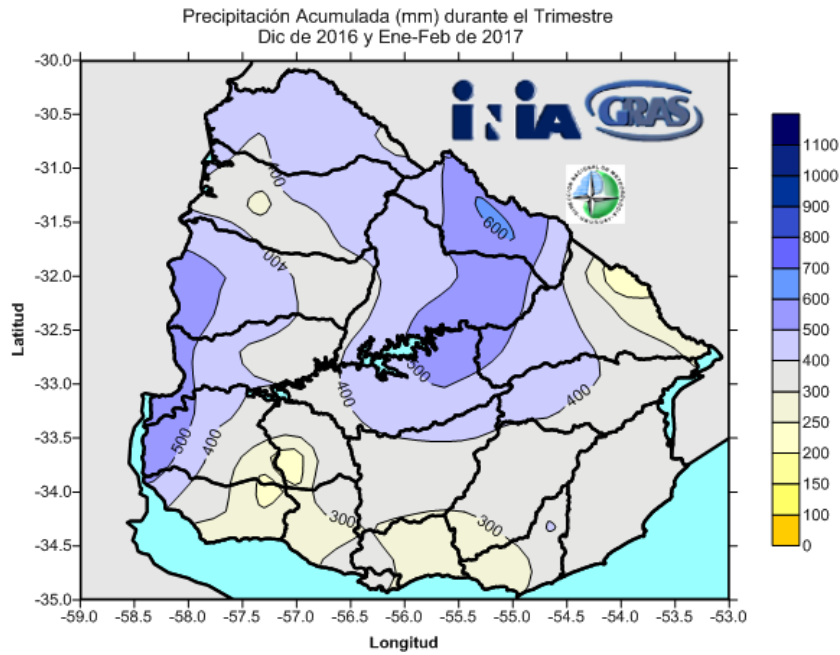


Fuente: tomado de INIA. GRAS (2021).

Período 2016-2017



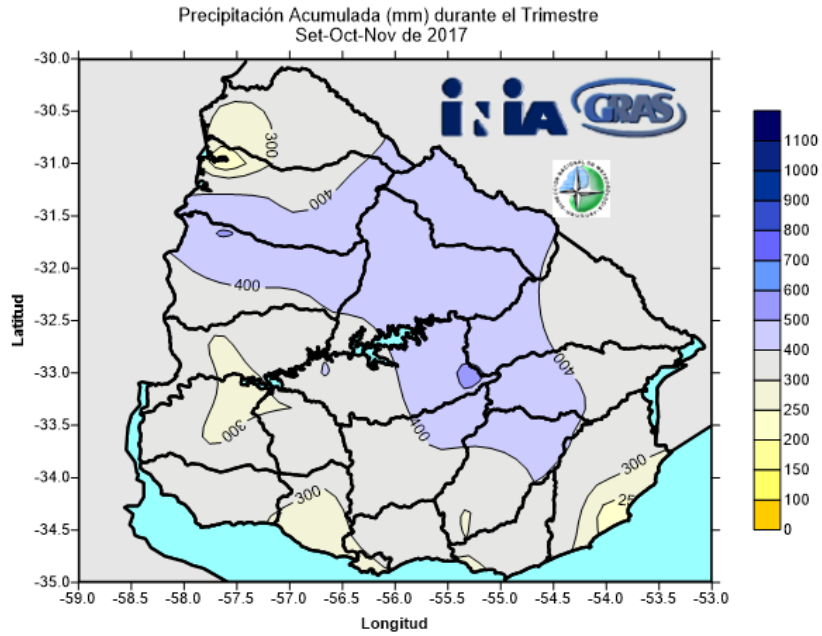
Fuente: tomado de INIA. GRAS (2021).



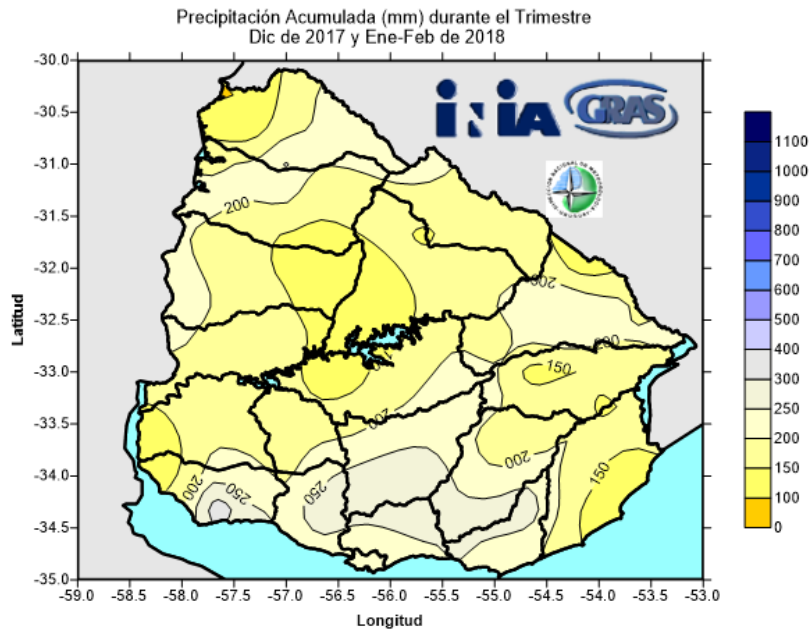
Fuente: tomado de INIA. GRAS (2021).



Período 2017-2018

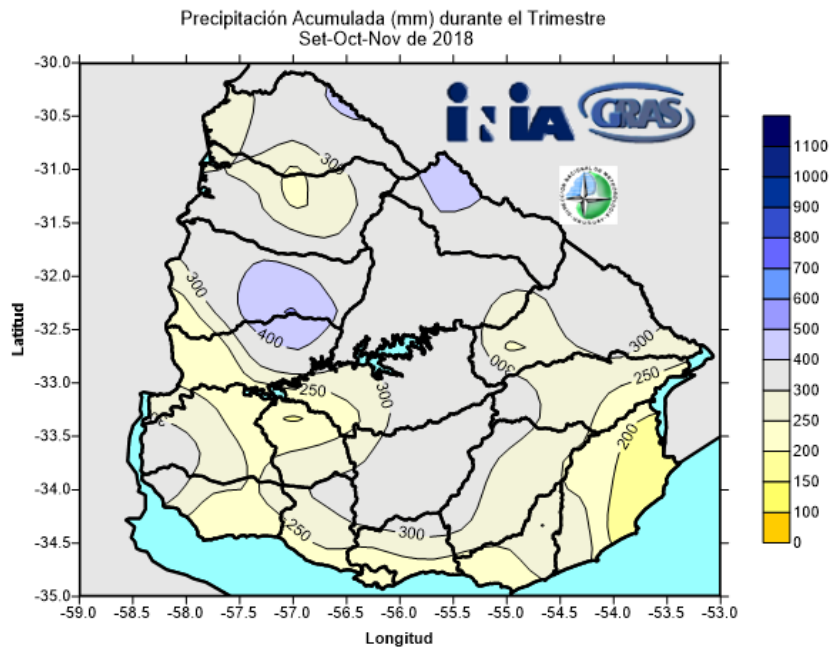


Fuente: tomado de INIA. GRAS (2021).

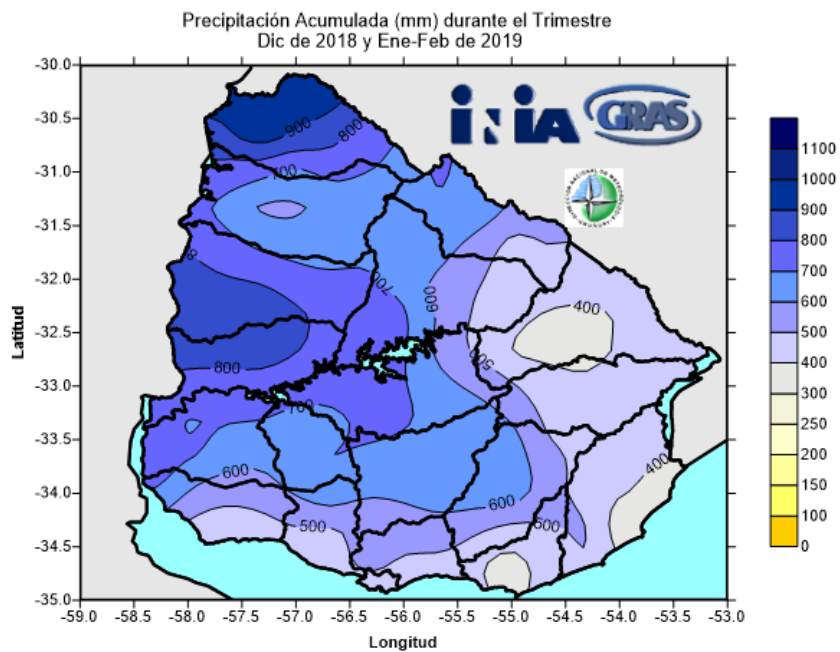


Fuente: tomado de INIA. GRAS (2021).

Período 2018-2019



Fuente: tomado de INIA. GRAS (2021).



Fuente: tomado de INIA. GRAS (2021).

Cuadro No. 3. Correlaciones con PCA, para ensilaje de sorgo

|                | <b>Dim. 1</b> | <b>Dim. 2</b> | <b>Dim. 3</b> |
|----------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>PH</b>      | 1,71          | 75,5          | 6,89          |
| <b>MS</b>      | 13,5          | 1,37          | 29,6          |
| <b>FDN</b>     | 31,3          | 0,97          | 0,49          |
| <b>FDA</b>     | 29,4          | 2,69          | 1,44          |
| <b>PB</b>      | 5             | 46,6          | 60,5          |
| <b>Cenizas</b> | 19,04         | 5,01          | 1,01          |

Cuadro No. 4. Correlaciones con PCA, para ensilaje de maíz

|                | <b>Dim. 1</b> | <b>Dim. 2</b> | <b>Dim. 3</b> |
|----------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>PH</b>      | 0             | 61,5          | 27            |
| <b>MS</b>      | 16,1          | 1,79          | 10,4          |
| <b>FDN</b>     | 19,3          | 0,82          | 11,2          |
| <b>FDA</b>     | 21,5          | 1,86          | 6,77          |
| <b>PB</b>      | 4,48          | 31,5          | 41,4          |
| <b>Cenizas</b> | 17,9          | 2,17          | 1,61          |
| <b>ALM.</b>    | 20,6          | 0,22          | 1,4           |

Cuadro No. 5. Componentes principales

|                        | <b>PC1</b> | <b>PC2</b> | <b>PC3</b> | <b>PC4</b> | <b>PC5</b> | <b>PC6</b> |
|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Standard deviation     | 1,6545     | 1,0283     | 0,9985     | 0,7964     | 0,67456    | 0,34475    |
| Proportion of Variance | 0.4562     | 0.1762     | 0.1662     | 0.1057     | 0.07584    | 0.01981    |
| Cumulative Proportion  | 0.4562     | 0.6325     | 0.7986     | 0.9043     | 0.98019    | 1.00000    |

Cuadro No. 6. Composición química para los ensilajes de sorgo

| <b>Sorgo</b> | <b>MS</b> | <b>PB</b> | <b>pH</b> | <b>FDN</b> | <b>FDA</b> | <b>Cenizas</b> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|----------------|
| <b>Máx.</b>  | 45,62     | 10,85     | 7,5       | 72,82      | 51,54      | 10,21          |
| <b>Mín.</b>  | 18        | 3,5       | 3,25      | 36,79      | 22,17      | 3,84           |
| <b>Media</b> | 28,55     | 6,8       | 3,83      | 53,29      | 34,29      | 6,54           |

Cuadro No. 7. Composición química para los ensilajes de maíz

| <b>Maíz</b>  | <b>MS</b> | <b>PB</b> | <b>pH</b> | <b>FDN</b> | <b>FDA</b> | <b>Cenizas</b> | <b>Almidón</b> |
|--------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|----------------|----------------|
| <b>Máx.</b>  | 48,39     | 11,03     | 6,97      | 65         | 43,6       | 8,33           | 35             |
| <b>Mín.</b>  | 21,06     | 4,14      | 3,97      | 30,52      | 17,28      | 3,52           | 4,78           |
| <b>Media</b> | 33,07     | 7,62      | 3,83      | 42,34      | 24,67      | 5,26           | 27,26          |

Cuadro No. 8. Variables suplementarias sorgo

| <b>SORGO</b> | <b>Grupo 1</b> | <b>Grupo 2</b>   | <b>Grupo 3</b>    | <b>Grupo 4</b>    |
|--------------|----------------|------------------|-------------------|-------------------|
| <b>AÑO</b>   | 2013           | 2013, 2016, 2019 | 2016, 2019        | 2013, 2017, 2019  |
| <b>ZONA</b>  | -----          | -----            | Sur y litoral Sur | Sur y litoral Sur |

Cuadro No. 9. Variables suplementarias maíz

| <b>MAÍZ</b> | <b>Grupo 1</b>   | <b>Grupo 2</b> | <b>Grupo 3</b>   | <b>Grupo 4</b> |
|-------------|------------------|----------------|------------------|----------------|
| <b>AÑO</b>  | 2013, 2015, 2019 | 2016, 2019     | 2016, 2017, 2019 | 2013, 2019     |
| <b>ZONA</b> | Norte            | -----          | -----            | -----          |