

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**SELECCIÓN DE MAÍZ PARA SILO MEDIANTE FAMILIAS DE MEDIOS
HERMANOS DE LA RAZA BLANCO DENTADO**

por

Pamela Stefani RAMOS OLIVERA

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2024**

PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (Ph.D.) Rafael Vidal

Ing. Agr. (Ph.D.) Andrés Locatelli

Tribunal:

Ing. Agr. (Ph.D.) Rafael Vidal

Ing. Agr. (Ph.D.) Andrés Locatelli

Ing. Agr. (M.Sc.) Mariana Arias

Ing. Agr. (M.Sc.) Maximiliano Verocai

Fecha:

26 de setiembre de 2024

Estudiante:

Pamela Stefani Ramos Olivera

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, a mis amigos y a los facuamigos, quienes hicieron que este camino fuera más llevadero, aligerando mis mochilas. A Vale, por su amor, cuidado, paciencia y compañerismo en todos los momentos. A la Sucsí, mi gran compañera desde siempre, quien creyó en mí cuando ni yo lo hacía. Gracias por los memes motivacionales de tesis.

A mis tutores, Rafa y Andrés, por orientarme y brindarme su conocimiento, y por ayudarme a llevar a cabo esta tesis a pesar de la pandemia. A Belén, Adrián, Germán y Marcela, por ayudarme a instalar el ensayo. A Sora y Nati, por ayudarme con las mediciones. A Ignacio, por su paciencia y ayuda con el R.

A Dahia y Santi, por brindarme alojamiento durante mi estadía en Paysandú para las mediciones. Su hospitalidad y generosidad hicieron que este proceso fuera mucho más llevadero.

A Óscar, por brindarme un espacio en donde escucharme. A Arande y Sami, por acompañarme y llenarme de amor en todos los momentos.

A las colaboradoras de la Biblioteca de la Facultad, por brindarme su apoyo y soporte en la búsqueda de material, y por estar siempre dispuestas a clarificar dudas sobre citas, formato, y todo lo necesario. Su dedicación y amabilidad fueron esenciales para la realización de este trabajo.

El agradecimiento más grande es para mi padre y mi madre. Mi padre, pequeño productor con un amor inmenso por el campo, quien me enseñó a amar el campo y, a pesar de su quebranto de salud, continúa adelante. Mi madre, una maestra rural aguerrida, que nos enseñó que la educación es el arma más importante. Má, no pudiste ver este título cosecharse, pero te lo dedico con todo mi corazón. Tardó, pero llegó.

Por último, a la Educación Pública por permitirme formarme.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS.....	6
RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	8
1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. OBJETIVOS.....	10
1.1.1. Objetivo general.....	10
1.1.2. Objetivos Específicos.....	10
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. FISIOLOGÍA Y ECOLOGÍA DEL MAÍZ.....	11
2.2. PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN EL MUNDO.....	13
2.2.1. Importancia del cultivo de maíz en el mundo.....	13
2.2.2. Importancia de la diversidad.....	16
2.3. PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN EL URUGUAY.....	18
2.3.1. Producción a nivel comercial en Uruguay.....	20
2.3.2. Producción a nivel familiar en Uruguay: tambo y variedades criollas ...	21
2.3.3. Manejo, uso y conservación del maíz en nuestro país.....	22
2.4. MEJORAMIENTO GENÉTICO EN MAÍZ.....	23
2.4.1. Métodos de mejoramiento genético.....	25
2.4.2. Híbridos y Variedades de Polinización Abierta.....	27
2.5. BLANCO CANGÜÉ.....	29
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
3.1. CARACTERIZACIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL.....	33
3.1.1. Localización.....	33
3.1.2. Preparación del suelo e información meteorológica.....	33
3.2. CARACTERIZACIÓN DEL EXPERIMENTO.....	35
3.2.1. Genotipos.....	35
3.2.2. Distribución de plantas y Manejo de malezas, enfermedades, plagas y fertilización.....	35
3.3. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA.....	36
3.3.1. Características determinadas en floración.....	36
3.3.2. Características determinadas en cosecha.....	37
3.3.3. Características determinadas en pos-cosecha.....	37
4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	38
5. RESULTADOS.....	39

5.1.	ANÁLISIS DE VARIANZA Y TEST DE TUKEY PARA VARIABLES CUANTITATIVAS	41
5.2.	PRUEBA DE χ^2 PARA VARIABLES CUALITATIVAS	43
5.3.	CORRELACIONES ENTRE VARIABLES	43
5.4.	ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	44
5.5.	ESTIMACIÓN DE LA HEREDABILIDAD EN SENTIDO ESTRICTO Y LA GANANCIA GENÉTICA	49
6.	DISCUSIÓN	52
6.1.	CARACTERÍSTICAS QUE PRESENTARON DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS	56
6.1.1.	Floración Femenina	56
6.1.2.	Perímetro de Espiga y Perímetro de Marlo	56
6.1.3.	Número de hileras por espiga	57
6.2.	CARACTERÍSTICAS QUE NO PRESENTARON DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS	57
6.2.1.	Floración Masculina	57
6.2.2.	Altura de Planta	58
6.2.3.	Altura de Espiga	59
6.2.4.	Relación Altura de Espiga/Altura de Planta	59
6.2.5.	Prolifricidad	60
6.2.6.	Largo de Espiga	60
6.2.7.	Número de Granos por Hilera	60
6.2.8.	Macollaje y Fertilidad de Macollos	61
6.2.9.	Vuelco y Quebrado	63
6.2.10.	Ancho, Largo y Espesor de Grano	64
6.3.	CORRELACIONES ENTRE VARIABLES	64
6.4.	ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES	65
6.5.	ESTIMACIÓN DE LA HEREDABILIDAD EN SENTIDO ESTRICTO Y LA GANANCIA GENÉTICA	68
7.	CONCLUSIONES	70
8.	BIBLIOGRAFÍA	71
9.	ANEXOS	80

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla No.	Página
Tabla 1 Estimación de parámetros poblacionales para las 150 FMH.....	41
Tabla 2 Grupos, rango de medias y letras según Prueba de Tukey para floración femenina	41
Tabla 3 Grupos, rango de medias y letras según Prueba de Tukey para perímetro de espiga	42
Tabla 4 Grupos, rango de medias y letras según Prueba de Tukey para perímetro de marlo	43
Tabla 5 Coeficientes de correlación para variables con desviación respecto a la media	44
Tabla 6 Coeficientes de las variables para los tres primeros Componentes Principales.	46
Tabla 7 Heredabilidad y Ganancia Genética para floración femenina, perímetro de marlo y espiga.....	50
Tabla 8 Selección de FMH según variables con datos estimados de heredabilidad.....	54
Tabla 9 Comparación de características medidas en FMH con valores literarios reportados.....	54
Tabla 10 Comparación de correlaciones en FMH con las de la raza Blanco Dentado.....	65
Tabla 11 Comparación de las cinco variables clave en los Componentes Principales 1, 2 y 3.....	67
Figura No.	Página
Figura 1 Ubicación del ensayo en la EEMAC.....	33
Figura 2 Condiciones climáticas durante el ensayo.....	34
Figura 3 Diseño experimental	35
Figura 4 Varianza explicada por Componente Principal	45
Figura 5 Distribución de las FMH en el espacio de los Componentes Principales 1 y 2	47
Figura 6 Distribución de las FMH en el espacio del PC1 y PC2 con vectores principales	48

RESUMEN

El maíz Blanco Cangüé, es una variedad de polinización abierta (VPA) seleccionada por la Facultad de Agronomía y fue desarrollada mediante la selección de medios hermanos (SMH). Ha demostrado un rendimiento superior en materia seca y buenas características nutricionales para silo y pastoreo. Se pretendió caracterizar la diversidad dentro de una población de maíz blanco dentado para seleccionar las mejores familias de medios hermanos (FMH). Para lograr estos objetivos, se realizaron análisis estadísticos: análisis de varianza (ANOVA), prueba de chi cuadrado (χ^2), test de comparación de medias (Tukey), correlación de Spearman, análisis de componentes principales (PCA) y estimaciones de heredabilidad y ganancia genética para variables cuantitativas y cualitativas. Los resultados revelaron diferencias significativas en cuatro características evaluadas y la existencia de correlación entre algunas variables. La variabilidad observada en determinadas características sugiere una base genética diversa que sería favorable para futuras estrategias de selección. El PCA reveló que tres componentes explican el 52% de la varianza total, aumentando al 83% con siete componentes. Los valores de heredabilidad para floración femenina (FF) son medios, perímetro de espiga (PE) y para perímetro de marlo (PM), son medios y bajos, respectivamente. La SMH ha sido efectiva para algunos caracteres, pero la selección masal podría ser una alternativa valiosa para poblaciones con alta variabilidad genética y baja heredabilidad. Finalmente, se seleccionaron 15 FMH con FF menores y altos valores de PM y PE, con el objetivo de mejorar la sincronidad de la floración bajo condiciones de estrés hídrico.

Palabras clave: *Zea mays* sp. *mays* L, diversidad genética, características morfológicas, heredabilidad.

ABSTRACT

Blanco Cangüé corn is an open-pollinated variety (OPV) selected by the Faculty of Agronomy and has developed through the selection of half-sib families (HSF). It has demonstrated superior performance in terms of dry matter and good nutritional characteristics for silage and grazing. The objective was to characterize the diversity within a population of white dent corn to select the best half-sib families (HSF). To achieve these objectives, statistical analyses were conducted: analysis of variance (ANOVA), chi-square test (Chi²), Tukey's multiple comparison test, Spearman's correlation, principal component analysis (PCA), and estimates of heritability and genetic gain for both quantitative and qualitative variables. The results revealed significant differences in four assessed traits and the existence of correlations between some variables. The observed variability in certain traits suggests a diverse genetic base that would be favorable for future selection strategies. PCA revealed that three components explained 52% of the total variance, increasing to 83% with seven components. Heritability values for female flowering (FF) were moderate, and for corn ear perimeter (EP) and cob perimeter (CP), they were moderate to low. The HSF method has been effective for some traits, but mass selection could be a valuable alternative for populations with high genetic variability and low heritability. Finally, 15 HSF were selected with shorter FF and higher values for CP and EP, aiming to improve flowering synchronization under water stress conditions.

Keywords: *Zea mays* sp. *mays* L, genetic diversity, morphological traits, heritability

1. INTRODUCCIÓN

El maíz, con una producción global que alcanzó las 1.007.473 toneladas en 2014, se erige como el cereal más importante del mundo (Kurtz et al., 2016; Mahama et al., 2016). Por otra parte, se estima que la oferta de maíz para el 2024 aumentó, colocándose en niveles de 2.851 millones de toneladas (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], s.f.). Este cereal no sólo destaca por su impresionante volumen de producción, sino también por su versatilidad. Sirve como alimento tanto para ganado en economías desarrolladas y en desarrollo, como un componente esencial de la dieta humana en diversas regiones, incluyendo África subsahariana, América Latina y Asia. Además, el maíz encuentra una amplia gama de aplicaciones no alimentarias a nivel global (*Digital Press Briefing*, 2023).

Entre los cultivares nacionales de maíz, el Blanco Cangüé resalta como un ejemplo notable de desarrollo agronómico. Esta variedad de polinización abierta (VPA) fue seleccionada por la Facultad de Agronomía y, desde 2008, figura en el Registro Nacional de Cultivares. Fue desarrollada a partir de un Compuesto Racial de 90 accesiones de variedades criollas de la raza Blanco Dentado, el Blanco Cangüé muestra una destacada adaptación a las condiciones de producción de silo, destacándose por su macollaje y variabilidad para rebrote, lo cual abre oportunidades para el mejoramiento genético y el pastoreo en siembras tempranas (Alesandri, 2012).

El maíz tiene sus raíces en el Teosinte (*Zea mays spp. parviglumis*), una gramínea silvestre del Valle del Río Balsas en el suroeste de México, donde fue domesticado hace aproximadamente 9.000 años (Kennett et al., 2020). La dispersión de esta especie a lo largo del neotrópico se produjo hace unos 7.000 años, y las poblaciones ancestrales de maíz en Sudamérica se diferenciaron del pool genético mexicano a lo largo del tiempo (Silva et al., 2020). En Uruguay, actualmente se cultivan 10 razas de maíz y tres complejos raciales, entre los cuales se encuentra la raza Blanco dentado a la que pertenece el cultivar Blanco Cangüé, conocido por su adaptabilidad a las condiciones locales y su potencial forrajero y silero (Alesandri, 2012; Silva et al., 2020).

Este estudio se centra en evaluar la existencia de variabilidad genética en características morfológicas entre 150 familias de medios hermanos de maíz (FMH), así como en identificar las correlaciones entre estas variables. Se explorará también el comportamiento de estas variables para revelar patrones que podrían no ser evidentes a primera vista, y se estimará la heredabilidad en sentido estricto junto con el posible progreso genético asociado. A través de este análisis, se pretende responder a preguntas clave sobre la selección de familias superiores y la adecuación del método empleado.

Así, este estudio busca no solo determinar las diferencias significativas entre las familias de maíz, sino también entender mejor si el material analizado se comporta de manera similar al Blanco Cangüé y evaluar si el método de selección empleado ha sido el más adecuado para lograr un progreso efectivo.

1.1. OBJETIVOS

Este estudio tiene como objetivo evaluar la variabilidad genética en características morfológicas de 150 familias de medios hermanos de maíz (FMH), así como identificar correlaciones entre estas variables y estimar el posible progreso genético. Para lograrlo, se planteó un objetivo general, desglosado en cinco objetivos específicos, que permitirán determinar diferencias significativas entre las familias, analizar su similitud con el Blanco Cangüé.

1.1.1. Objetivo general

Caracterizar la diversidad de interés agronómico de familias de medios hermanos de una Variedad de Polinización Abierta para silo.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Identificar las familias de medios hermanos con menor ciclo de floración.
- Identificar las familias de medios hermanos superiores en resistencia al vuelco.
- Identificar las familias de medios hermanos con potencial de macollaje.
- Identificar las familias de medios hermanos superiores en características de grano y espiga.
- Identificar las familias de medios hermanos con menores alturas de espigas.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. FISIOLOGÍA Y ECOLOGÍA DEL MAÍZ

El maíz (*Zea mays* sp. *mays* L) es una especie anual-estival que pertenece a la familia de las *Poáceas* (Gramíneas), la cual no puede ser encontrada en estado silvestre. Es uno de los muchos cultivos diploides y tiene un juego básico de diez cromosomas (Satorre et al., 2006). Presenta tipo de reproducción sexual y cruzada por lo que se define como una especie alógama. Posee flores masculinas y femeninas en partes separadas de la misma planta, por lo que se clasifica como monoica diclina (Sánchez, 2014).

Es una planta de metabolismo C4 (no presenta fotorrespiración detectable), siendo muy eficiente en la producción de biomasa sobrepasando a otros cultivos importantes de nuestro país como el girasol, la soja y el trigo. La alta producción de biomasa y elevado índice de cosecha se debe a su elevada tasa fotosintética, a un bajo valor energético de la materia seca producida y a una adecuada estructura del cultivo. En ambientes con alta radiación solar y con gran amplitud térmica el maíz produce, en situaciones de ausencia de estrés, muy buenos potenciales de rendimiento (Andrade et al., 1996). El maíz presenta una amplia adaptación a diferentes condiciones de ambiente, pudiendo llevarse a cabo el cultivo entre el nivel del mar y los 4.000 m de altitud, entre las latitudes de 40° S y 58° N (Sánchez, 2014).

La temperatura controla la duración del ciclo del maíz entre la siembra y la madurez fisiológica. El fotoperíodo incide en el tiempo entre la emergencia y la floración en germoplasmas tropicales. Ambos factores tienen una gran importancia en el desarrollo del ciclo ontogénico del cultivo en función de la elección de la fecha de siembra (Satorre et al., 2006).

El ciclo del cultivo se describe en base a la escala fenológica propuesta por Ritchie et al. (1986) que utiliza caracteres morfológicos visibles. En la misma, se pueden identificar dos grandes fases: la vegetativa (puede subdividirse en estadios identificados con la letra V y un subíndice que corresponde al orden de la última hoja completamente extendida) y la reproductiva (inicia con la emergencia de los estigmas, R1, y finaliza con la madurez fisiológica de los granos, R6).

Satorre et al. (2006) indican que el crecimiento de la planta de maíz es de tipo determinado, el inicio de la floración, indica la finalización del crecimiento vegetativo. Estos mismos autores indican que la diferenciación de las estructuras reproductivas se inicia en las primeras etapas del desarrollo del cultivo, a partir de V4-V6. En este momento, se define el número total de hojas que tendrá la planta. Luego del inicio de la panoja, empieza la diferenciación de los primordios foliares de la yema axilar que dará origen a la espiga. Estos autores también explican que el panojamiento finaliza con la aparición de las anteras de las flores de la panoja iniciando la liberación del polen que se extiende por unos días. Este proceso empieza unos días antes de la aparición de los estigmas. Según los mismos autores la liberación del polen como la receptividad del complejo estilo-estigma se limitan a un período corto de tiempo. Por otra parte, indican que, a mayor sincronía floral entre las ambas inflorescencias, mayor será la posibilidad

de fecundación de la mayoría de las espiguillas. Finalmente, señalan que la receptividad del complejo estilo-estigma, decae rápidamente después de los siete días de su aparición, siendo nula a los 14 días de su emergencia.

La planta de maíz puede diferenciar muchas yemas axilares, pero solamente una o dos espigas por planta lograrán producir granos. La prolificidad de una planta dependerá del genotipo y del ambiente en donde ésta se desarrolle (Sánchez, 2014).

Satorre et al. (2006) señalan que el maíz presenta una alta inestabilidad en el rendimiento en grano y en el índice de cosecha cuando hay situaciones de estrés durante el período crítico (alrededor de la floración, momento en el cual se determina el principal componente del rendimiento: el número de granos por unidad de superficie) ya que la espiga del maíz se encuentra en una posición axial sujeta a dominancia apical durante el período crítico. Según los mismos autores este hecho sumado al hábito de crecimiento de la planta (tipo determinado) le confiere al maíz una alta inestabilidad en el rendimiento en grano y en el índice de cosecha frente a situaciones de estrés durante el período crítico.

A su vez, el maíz presenta una respuesta a la temperatura que determina que todas las fases presenten mayor o menor sensibilidad, determinado que la mismas se aceleran o retrasan, según el cultivo sea expuesto a temperaturas más altas o bajas, respectivamente (Sánchez, 2014; Satorre et al., 2006). Martínez Álvarez (2015) indica que, en el maíz, el pasaje de una etapa fenológica a la otra se da por la acumulación térmica por encima de un umbral, denominado temperatura base (T_b). Temperaturas por encima de T_b , se acumulan como suma térmica o grados día ($^{\circ}\text{C d}$). Es por ello, que el tiempo térmico (TT) es aquel que pondera el tiempo calendario por la temperatura a la que las plantas están creciendo. La T_b en maíz se encuentra entre 5 y 10 $^{\circ}\text{C}$. Para el TT de una determinada etapa, se puede emplear la siguiente ecuación de Monteith (1977):

$$\text{TT } (^{\circ}\text{C d}) = \sum n (T_m - T_b)$$

Donde TT es el tiempo térmico, T_m la temperatura media diaria y T_b la temperatura base y n el número de días.

Los requerimientos térmicos para cumplir la etapa de emergencia y la floración masculina varían dependiendo del genotipo. Fassio et al. (1998) como se cita en Medina Scaglia (2001) estimaron que los requerimientos para un maíz de ciclo medio en Uruguay con una $T_b = 8^{\circ}\text{C}$ son de 877 $^{\circ}\text{C d}$, mientras que para un ciclo corto son 805 $^{\circ}\text{C d}$ y para un ciclo largo 938 $^{\circ}\text{C d}$.

Martínez Álvarez (2015) indica que el requerimiento térmico del período entre la floración y la madurez relativa, varían entre 600 y 900 $^{\circ}\text{C d}$ (estimado con una $T_b = 8^{\circ}\text{C}$). En general, este atributo es muy estable y explica el empleo de la suma térmica como criterio para predecir la madurez de los granos en las regiones subtropicales y templadas.

A su vez Satorre et al. (2006) y Martínez Álvarez (2015) señalan que el fotoperíodo también afecta la tasa de desarrollo del maíz, mientras que la temperatura presenta un efecto universal y responde a modelos sencillos, el fotoperíodo genera una respuesta más compleja y distinta dependiendo del momento de desarrollo en el que se encuentre el

cultivo. La respuesta que presenta este cultivo al fotoperíodo es cuantitativa de días cortos, lo que indica que se incrementa la duración de una determinada etapa del desarrollo ante aumentos en el fotoperíodo.

2.2. PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN EL MUNDO

El maíz y otros cereales representan la base para la alimentación de personas y animales a nivel mundial, principalmente en África subsahariana, América Latina, y Asia. En nuestro país y en el mundo el maíz es uno de los cultivos más tradicionales.

Prassana (2012) indica que de aquí a 2050, se estima que la demanda de maíz en el mundo en desarrollo se duplicará. Para 2025, se espera que la producción de maíz sea la más alta a nivel mundial, especialmente en los países en desarrollo. Sin embargo, los rendimientos del maíz en muchos países en desarrollo están gravemente limitados por situaciones de estrés y otros factores, probablemente la producción no pueda satisfacer las demandas sin fuertes intervenciones tecnológicas y políticas. Además, otro desafío importante que amenaza el crecimiento de la producción de maíz a largo plazo es el cambio climático global por el aumento de años con condiciones adversas para el cultivo (Prassana, 2012).

2.2.1. Importancia del cultivo de maíz en el mundo

González Castro et al. (2013) y Sánchez Hernández et al. (2019) plantean que el maíz es cultivado en una gran diversidad de ambientes con diferencias en el régimen hídrico, la radiación solar, la temperatura y los sistemas de producción. Según Paliwal (2001), se encuentra desde los 58° N (Canadá y Rusia) hasta los 40° S (Argentina y Chile), mayormente cultivado en altitudes medias. Esto ha llevado a la generación de una amplia diversidad genética tras miles de años de domesticación, selección (González Castro et al., 2013; Sánchez Hernández et al., 2019)

El maíz puede clasificarse según la latitud y el ambiente. Con estos criterios se clasifican en: maíces tropicales aquellos que se siembra en los ambientes más cálidos (entre la línea ecuatorial y los 30° S y los 30° N), maíces de las zonas templadas aquellos que se cultivan en climas más fríos (luego de los 34° de latitud sur y norte) y maíces subtropicales (se cultivan en las latitudes de 30° y 34° de ambos hemisferios) (Paliwal, 2001).

El crecimiento demográfico, junto con el aumento en la demanda de productos de origen animal, especialmente en los países en desarrollo, está impulsando una mayor presión sobre los recursos agrícolas (Andorf et al., 2019). El maíz, en particular, se ha convertido en un cultivo esencial debido a su versatilidad y alta demanda como alimento humano, pienso para el ganado e insumo clave para la producción de biocombustibles, como el etanol. Esta situación también ha incrementado la demanda de otras materias primas fundamentales para diversas industrias, generando desafíos para garantizar la sostenibilidad de la producción agrícola y la seguridad alimentaria mundial (Andorf et al., 2019).

Erenstein et al. (2022) apuntan que el 77,4% de la producción mundial (lo que equivaldría a una producción de 881 millones de toneladas al año) son producidas por ocho países:

EEUU, China, Brasil, Argentina, Ucrania, Indonesia, India y México. Es dominada por EEUU y China, quienes producen más de la mitad de la producción mundial. Estos autores sostienen además que se ha observado en el último año un aumento en la superficie cultivada de maíz a nivel mundial, la cual se condice con los aumentos de la superficie de este cultivo en Ucrania, Argentina, China e Indonesia. Según los mismos autores un tercio de la superficie mundial de maíz está ubicada en países pobres, los cuales contribuyen con el 15% de la producción mundial, debido a sus rendimientos notablemente más bajos (2,7 toneladas/ha). Sin embargo, estos países presentan las mayores tasas de aumentos en el área y en el rendimiento, en comparación con los países de ingresos medios-altos y altos.

Según los datos obtenidos en FAOSTAT (FAO, s.f.), al ingresar a la sección de datos y seleccionar "Índice de Producción" y luego "Cereales, primarios", se observa que para el período se observa que de 2017-2019 se cultivaba en aproximadamente 197 millones de hectáreas a nivel mundial, siendo el segundo cultivo después del trigo. Esto significó un aumento del 46% (135 millones de hectáreas), en relación con las hectáreas sembradas en el período de 1993-1995. A su vez, el nivel de producción pasó de 521 millones de toneladas a 1137 millones de toneladas a nivel mundial, lo que significó un incremento del 118%. El rendimiento por hectárea también fue otro indicador que cambió su magnitud. Para el período 1993-1995, el maíz presentaba un rendimiento de 3,9 t/ha, mientras que para el período de 2017-2019 se incrementó en más del 50%, pasando a niveles de 5,8 t/ha (FAO, s.f.).

Para el 2018, FAOSTAT estimó, al ingresar a la sección Datos y luego "Cultivos y productos de ganadería", que la producción mundial de ensilaje de maíz se multiplicó por cuatro desde 1961 a 18 millones de toneladas. Esto fue causado por una duplicación en el área de producción a 1,4 millones de hectáreas y al aumento del rendimiento a 12,8 toneladas/ha (FAO, s.f.).

Erenstein et al. (2022) apuntan que el cultivo de maíz se desarrolla en 165 países en América, Asia, Europa y África, estando la mayor superficie sembrada en América y Asia, luego África y por último Europa. Los autores mencionados también señalan que el continente americano es responsable de la mitad de la producción mundial de maíz, donde en América del Norte el principal productor es Estados Unidos. Señalan además que el continente asiático produce el 32% del maíz del mundo, principalmente en China, donde se produce mayormente maíz templado; mientras que Europa produce el 11% del maíz mundial y África el 7,4%.

Lowder et al. (2021) como se cita en Erenstein et al. (2022) analizaron datos de censos agropecuarios y determinaron que existen más de 608 millones de explotaciones en el mundo y más del 90% de ellas son explotaciones familiares, ya que están dirigidas por un individuo o una familia y dependen principalmente de la mano de obra familiar. Las explotaciones familiares ocupan alrededor del 70% al 80% de las tierras agrícolas y producen aproximadamente el 80% de los alimentos del mundo en términos de valor (Erenstein et al., 2022). Además, que existe una mayor concentración de tierras cultivadas entre las grandes explotaciones a medida que crecen las economías, siendo esto explicado

por: tierras agrícolas distribuidas desigualmente, explotaciones pequeñas que trabajan una proporción mayor de tierras agrícolas en regiones de ingresos menores.

Erenstein et al. (2022) sostienen que la producción familiar de maíz se lleva a cabo por pequeños agricultores/as con recursos limitados en Asia, África y América del Sur. Estos mismos autores señalan que muchos dependen del maíz para su seguridad alimentaria y medios de subsistencia, abarcando diversas zonas agroecológicas, donde los sistemas de producción varían en el uso de insumos, mecanización e integración al mercado.

Esto genera una amplia gama de sistemas de producción de maíz extensivos a intensivos, con rendimientos y rentabilidad variables. Además, existe un contraste entre las áreas de cultivo-consumo de maíz tradicional y no tradicional, donde el maíz juega un rol fundamental para la seguridad alimentaria, la cultura de vida rural y para la innovación y la dinámica del sistema (Valbuena et al., 2012).

Erenstein et al. (2022) indican que en el otro extremo del espectro del tamaño de las fincas se encuentran los grandes productores comerciales de maíz mecanizado, por ejemplo, en EE. UU. y Brasil. Estos mismos autores indican que estos sistemas combinan una nueva genética de maíz altamente productiva con un manejo intensivo del cultivo y el uso de agrotóxicos. En ese sentido, el rendimiento estimado para esas condiciones productivas a campo en el noreste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina es de 10.000 a 17.000 kg/ha (Satorre et al., 2006).

Por otra parte, Valbuena et al. (2012) remarcan que la importancia del maíz se debe a que:

- El 70 % de las personas más pobres en el mundo viven en zonas rurales, dependiendo la mayoría de ellas de la agricultura, principalmente del maíz y el trigo, siendo estos cultivos sus principales alimentos y fuente de ingresos.

- El maíz junto al trigo representan cerca del 40 % de los alimentos del mundo y aproximadamente el 25% de las calorías consumidas en países en desarrollo. Además, millones de personas en el mundo, que habitan en zonas urbanas, adquieren más del 50% de las calorías diarias de estos alimentos.

- El maíz y el trigo son sembrados en casi 200 millones de hectáreas en países en desarrollo.

- En países en desarrollo serán necesarios 368 millones de toneladas más de maíz y trigo en el 2020 para cubrir los requerimientos de alimentos.

Según Paliwal (2001) el rendimiento medio del maíz tropical, cuando es comparado con el del maíz de las zonas templadas, es algo menor, así como la productividad. Sin embargo, el ciclo de este cultivo en las zonas templadas es mucho más largo. De acuerdo con este autor aun así existen algunas excepciones donde la productividad del maíz tropical se compara con la producción del maíz en ambientes templados, como es el caso del maíz cultivado en época invernal en los trópicos. A pesar de esto, existe un cambio en la producción de maíz en los trópicos, debido a la mayor disponibilidad de germoplasma con buen índice de cosecha y alta productividad para estos ambientes. Esto está atribuido, a la expansión de la producción y comercialización de semillas en los

sectores público y privado y al uso de híbridos superiores y variedades mejoradas (Paliwal, 2001).

2.2.2. Importancia de la diversidad

De acuerdo con Kennett et al. (2020) el maíz fue domesticado a partir del Teosinte (*Zea mays spp. parviglumis*), una gramínea silvestre que crece en los tramos inferiores del Valle del Río Balsas en el suroeste de México, sugiriendo su domesticación en el Holoceno temprano (aproximadamente hace 9.000 años). También, indican que la dispersión generalizada de esta especie domesticada a través de las tierras bajas del neotrópico se dio aproximadamente hace 7.000 años.

Silva et al. (2020) sostienen que las poblaciones ancestrales del maíz sur americano se diseminaron desde México en estado parcialmente domesticado, llevando a que se diferenciarán del pool genético de las poblaciones silvestres mexicanas.

Kistler et al. (2018) como se cita en Silva et al. (2020) indican que las poblaciones estructuradas de maíz con procesos de domesticación estable evolucionaron en América del Sur. Según estos autores estos procesos ocurrieron a partir de poblaciones ancestrales parcialmente domesticadas venidas de México. Sin embargo, la importancia dietética inicial, el proceso y el momento de su adopción como carbohidrato básico en la dieta humana siguen sin estar claros (Kennett et al., 2020).

Finalmente, Silva et al. (2020) señalan que la región Sudoeste de la Selva Amazónica es señalada como un posible centro de mejoramiento secundario del maíz en América del Sur, donde ocurrió un proceso parcial de domesticación del maíz, no estando completo el proceso cuando ocurrió la dispersión, demostrando la importancia del germoplasma suramericano en el proceso de evolución y diversificación de la especie. Así mismo, recalcan el papel que jugaron desde tiempos remotos y que aún juegan, los agricultores e indígenas en este proceso, ya que han sido y son responsables del mantenimiento, el uso y la conservación de un pool genético distinto.

Prassana (2012) señala que fuera de América Latina también existen variedades locales de maíz con algunas características únicas. Por ejemplo, Sikkim es la base de la diversidad del maíz en la India, con una colección única de variedades locales que los agricultores aún conservan y utilizan para diversos fines.

El uso y la conservación de la diversidad genética vegetal son necesarias para el desarrollo de un nuevo tipo de agricultura capaz de equilibrar el incremento en la producción de alimentos y fibras, con el uso racional, equilibrado y económico de los recursos naturales y el cuidado del medio ambiente (Vilaró, 2013). Esto se debe a que la variabilidad genética que presentan las distintas poblaciones y especies define su capacidad de adaptación a cambios en el ambiente que permitan su sobrevivencia y evolución. Además, la diversidad genética vegetal es fuente de materiales que pueden emplearse en el mejoramiento genético para la creación de variedades que presenten mayor resistencia a plagas y enfermedades, tolerancia a estreses tanto bióticos como abióticos y mejores rendimientos (Vilaró, 2013).

Por otra parte, Lobo Arias y Medina Cano (2009) sostienen que cerca del 75% de la diversidad genética vegetal (genes y combinaciones de estos) empleada en agricultura se perdió durante el siglo XX. Sin embargo, el proceso de erosión genética aún continúa y paralelamente afecta a la diversidad genética silvestre (Porta Umpiérrez, 2016).

La dieta humana está basada en alrededor de 150 cultivos, donde el principal aporte de origen vegetal (80% de las calorías), proviene de 12 de ellos; siendo los principales aportadores el arroz, el trigo, el maíz y la papa (representan el 60% de las calorías) (Lobo Arias & Medina Cano, 2009). Esto adquiere suma relevancia desde el punto de vista de la seguridad alimentaria, por el riesgo que supone para la humanidad, la pérdida de diversidad. Por lo tanto, es de gran importancia la conservación de la diversidad amenazada, para la promoción de su uso y satisfacción de las necesidades de ésta y de las siguientes generaciones (Lobo Arias & Medina Cano, 2009).

Los agricultores/as, principalmente los agricultores/as familiares, juegan un rol importantísimo en la conservación de la agrobiodiversidad, siendo responsables de la defensa de ésta a través de la obtención de semillas, propágulos vegetativos y su siembra continua. Esto determina un proceso dinámico, de selección e introducción permanentemente de variabilidad mediante intercambio de materiales con otros agricultores/as (Porta Umpiérrez, 2016).

Este proceso dinámico de manejo, uso y conservación de la agrobiodiversidad que llevan adelante los agricultores/as determina la existencia de variedades criollas o variedades locales y es por ese rol tan importante en la conservación de estos recursos, se puede acuñar el término de guardianes para referirse a ellos/as (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO], 2022).

Porta Umpiérrez (2016) recopiló diversas definiciones de lo que constituye una variedad criolla o local, destacando la multiplicidad de enfoques que diferentes autores han utilizado para describir estas variedades. Esta diversidad refleja que el concepto puede abarcar distintos aspectos, como características genéticas, prácticas culturales y adaptaciones ambientales específicas:

- Presentan una importante rusticidad pero que no las hace diferentes de otros materiales.
- El agricultor y a la comunidad juegan un rol importante como responsables de mantener y reproducir las variedades criollas.
- Presentan diversidad genética; diferenciables en sus características morfológicas, de uso y/o adaptación; como consecuencia de varios ciclos de selección y multiplicación por productores familiares presentes en determinada región a lo largo de muchas generaciones, o por grupos o comunidades de agricultores/as; pueden ser el resultado de programas formales de mejoramiento; presentan adaptación local y están asociadas a sistemas de producción tradicionales.
- Existencia de una interdependencia (que permite la supervivencia), entre los agricultores/as y las variedades criollas, surgiendo las últimas de los procesos de multiplicación, selección y conservación artesanal llevados a cabo por los agricultores/as y sus comunidades.

-Poseen importancia debido al valor que poseen por tratarse de un elemento cultural e identitario de los agricultores/as (valor intrínseco).

-Tienen un valor de uso, que se define como aquel valor que poseen como producto comercial, alimento, forraje (u otro uso que tengan dentro del predio), y como fuente de variabilidad para el mejoramiento formal por su adaptación a las condiciones agroecológicas y por las características agronómicas positivas que poseen, confiriéndoles importancia para su empleo como recurso para la agricultura que se desarrolla bajo condiciones adversas, ya que son producto de los procesos de selección natural y selección dirigida realizada por los agricultores/as, en condiciones ambientes marginales.

Silva et al. (2021) plantean una definición para variedades criollas de maíz. Indican que son poblaciones de plantas genéticamente dinámicas y con alta variabilidad, adaptación a diferentes condiciones ambientales y resiliencia al cambio climático. Estos autores también explican que las variedades criollas forman parte de un proceso constante de intercambio de semillas entre agricultores/as, por tratarse de una especie de ciclo anual, polinización anemófila y fecundación cruzada y son el fruto del proceso de domesticación de las plantas y la principal forma de conservación de la diversidad para la agricultura, se obtienen por la selección, conservación y manejo realizado por los agricultores/as y representan la soberanía y la seguridad alimentaria, representan la herencia cultural, conectan generaciones, forman parte del patrimonio cultural y de las tradiciones, fortalecen las relaciones de solidaridad a través del intercambio de semillas, saberes y el convivio entre personas. Por último, promueven mercados locales y la economía solidaria.

Finalmente, debe destacarse la importancia y la necesidad de la conservación de germoplasma *in situ* y *ex situ*. La conservación *in situ* para las especies domesticadas o cultivadas, en los entornos en que hayan desarrollado sus propiedades específicas (art. 2 CDB) y la conservación *ex situ* se entiende como la conservación de componentes de la diversidad biológica fuera de sus hábitats naturales (art. 2 CDB). Ambas son necesarias para la preservación de la enorme diversidad genética, ya que estos enfoques son complementarios (art. 8 CDB) (Naciones Unidas, 1992). Los enfoques *in situ* son adecuados para la conservación de variedades locales o tradicionales que tienen importante valor para los agricultores, gran diversidad genética, y para aquellas áreas ricas en biodiversidad (hotspots) y aquellas zonas en donde es poco probable que los agricultores sustituyan las variedades criollas por variedades mejoradas debido a razones socioeconómicas, culturales o étnicas (Prassana, 2012).

2.3. PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN EL URUGUAY

Porta Umpiérrez (2016) señala que los registros de cultivo de maíz más antiguos en el actual territorio de Uruguay datan de 4000 años aP. Rivas et al. (2023) determinan que el encuentro entre pueblos originarios americanos, colonizadores europeos y pueblos esclavizados de África en el Bioma Pampa del sur de Brasil y Uruguay implicó una mezcla cultural y una gran diversidad genética de variedades criollas de diferentes especies. Según los mismos autores la riqueza genética evolucionó mediante procesos

culturales y de selección en respuesta a distintos ambientes, antecedentes culturales y necesidades. Debido a esto presentan gran diversidad genética, diferentes respuestas fisiológicas, resistencia a enfermedades, distintos rasgos de calidad y usos asociados (desde la alimentación animal hasta una variedad de usos culinarios) (Porta Umpiérrez 2016). Algunas variedades criollas fueron la base para el mejoramiento, donde los cultivares mejorados permitieron la competitividad del germoplasma en los mercados. A su vez, las variedades criollas y los conocimientos asociados pueden emplearse en el beneficio de las y los agricultoras/es y consumidores, en pro de una agricultura sustentable (Rivas et al., 2023).

El cultivo de maíz presenta gran relevancia económica y social en nuestro país a causa del número de productores, el área sembrada y a la gran versatilidad de usos que presenta. Este cultivo se desarrolla mayoritariamente en la región del litoral oeste y suroeste del país, conocida como zona agrícola. La mayor parte de la producción se destina a la alimentación animal, siendo empleado mayormente para alimentación en la industria avícola. También se desarrolla en otras zonas del país para el empleo en la producción vacuna, lechera y suina. En la industria lechera es particularmente empleado gracias a su posible empleo como forraje de calidad (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2020).

Medina Scaglia (2001) señala que en nuestro país es uno de los cultivos más ampliamente difundidos y ha generado un importante incremento en su uso en establecimientos lecheros como forma de compensar la estacionalidad de las pasturas. El maíz presenta un valor importante para la alimentación animal que ha llevado a que aumente su utilización en las últimas décadas, principalmente gracias a sus buenas características de valor nutritivo y calidad para el ensilado. Es por esto por lo que se han dirigido esfuerzos a una búsqueda de cultivares adaptados a este propósito.

Según la DIEA (2011), se realizaron 76.406 hectáreas de maíz de primera (1.264 explotaciones) y 16.702 hectáreas de maíz de segunda (243 explotaciones). Ese mismo año, se hicieron 3,8% de hectáreas de maíz regado, siendo mayoritariamente para el cultivo de primera. Del maíz para primera, 397 hectáreas se destinan a reservas forrajeras y 78 hectáreas para semillero; mientras que se hicieron 34 hectáreas de reservas forrajeras de maíz de segunda y 4 hectáreas para semillero.

A su vez, en el año 2011 se realizaron 3.279 hectáreas de maíz para pastoreo (551 explotaciones), 5.552 hectáreas de maíz para grano húmedo (291 explotaciones) y la mayoría de las explotaciones (un total de 606) produjeron 13.653 hectáreas de maíz para silo de planta entera (DIEA, 2011).

Sin embargo, para la zafra 2019/20 las cosechas obtenidas de este cereal fueron inferiores a la zafra anterior debido a una retracción del área sembrada. Esto determinó que se llegaran a niveles de importación de 200 mil toneladas para poder compensar la sostenida demanda de granos para la producción ganadera y lechera. Se presentó un favorable marco de precios internacionales, desde el mes de noviembre, que motivó la siembra a pesar de las condiciones de déficit hídrico imperantes desde fines del invierno y la incertidumbre sobre el comportamiento de las precipitaciones durante el verano, ya que

existía una alta probabilidad de niveles menores que lo normal, debido al fenómeno de La Niña (DIEA, 2020).

Por otra parte, se estimó un área sembrada de 187.919 hectáreas, siendo el 35% de siembra de primera y el 65% de segunda, según los datos de la Encuesta Agrícola (DIEA, 2023).

2.3.1. Producción a nivel comercial en Uruguay

La producción a nivel comercial en Uruguay, mayoritariamente se realiza en explotaciones mayores a las 500 hectáreas (DIEA, 2020). El objetivo de este tipo de producción es la obtención de maíz para grano, ya sea para emplearlo dentro del predio en el consumo de animales (principalmente para el ganado de carne que se engorde a corral, pero también en predios lecheros), como para la venta fuera del predio. Para ello se emplean híbridos de alto rendimiento asociados a un paquete tecnológico demandante de insumos externos (Alesandri, 2012). En el año 2011, el 27% del área total de maíz con destino a granos (97 mil hectáreas) se sembró en 30 explotaciones con más de 500 hectáreas, que corresponden al 2,3% del total de las explotaciones a nivel nacional (DIEA, 2011).

Según datos de la DIEA (2011) en ese mismo año, 2.457 explotaciones declararon que su principal fuente de ingresos provenía de la siembra de cereales y oleaginosas, dentro de los cuales se encuentra el cultivo de maíz, no pudiendo discriminarse con exactitud en el Censo cuántas hectáreas exactamente se destinaron a este cultivo. También señalan que las explotaciones mayormente se ubicaron en los departamentos de Colonia (559) y Soriano (505), siguiéndoles el departamento de Río Negro con 246 explotaciones. Las 2.457 explotaciones contabilizaron un total de 1.740.620 hectáreas, entre cultivos de verano e invierno, siendo los departamentos de Soriano y Río Negro; los que presentaron mayores superficies cultivadas con cultivos de verano, 279.707 y 208.055 hectáreas, respectivamente. Si bien, el departamento de Soriano fue el segundo en número de explotaciones, el que estuvo en primero fue el departamento de Colonia (presentó 1.114 explotaciones con una superficie total de 100.384 hectáreas), mientras que en el departamento de Soriano se contabilizaron 827 explotaciones (DIEA, 2011). Esto podría sugerir que los cultivos de cereales y oleaginosas de verano, en este departamento se asocian a explotaciones de grande porte, mientras que en el departamento de Colonia podrían asociarse a explotaciones familiares.

En muchos casos, para lograr altos rendimientos y dada que la principal limitante ambiental en la producción de maíz en Uruguay es la disponibilidad hídrica; debido a la baja capacidad de almacenamiento de los suelos, las elevadas demandas atmosféricas y la irregularidad de las precipitaciones que, por lo general, no cubren los requerimientos del cultivo; se emplea el riego. Sin embargo, esta tecnología es muy poco utilizada por los altos costos operativos que presenta y los elevados niveles de inversión (Giménez, 2017).

2.3.2. Producción a nivel familiar en Uruguay: tambo y variedades criollas

El maíz en la producción familiar se siembra tanto para consumo humano como para consumo animal (maíz para pastoreo, para grano húmedo y/o para silo de planta entera), ya sea para utilización dentro del predio o para la venta a otras producciones.

Según la DIEA (2011) el cultivo para consumo humano en el año 2011 se agrupó en maíz de choclo común en 452 hectáreas y en 308 hectáreas de maíz para choclo dulce, que corresponden a 496 explotaciones. De estas 496 explotaciones, 477 explotaciones tuvieron hasta 5 hectáreas y abarcan 549 hectáreas. En ese año, 14 explotaciones que totalizan un total de 3 hectáreas realizaron maíz dulce para choclo en estructuras de protección. A su vez, en base a estos datos, se estimó que ese mismo año se realizaron 93.108 hectáreas de maíz de primera y segunda para grano a nivel país, en un total de 1.328 explotaciones, donde el 58,8 % de las explotaciones que explotaban solamente el 5% de la superficie sembrada eran explotaciones de menos de 25 hectáreas. Al mismo tiempo, el 73 % de la superficie total (67.958 hectáreas) se encuentra en predios menores a 500 hectáreas y corresponde al 97,7% del total de las explotaciones (DIEA, 2011).

Alesandri (2012) señala que la conservación de forrajes es ampliamente utilizada en los sistemas de producción animal, siendo el maíz la especie mayormente empleada, gracias a sus buenas características nutricionales y cualidades al momento del ensilaje.

El maíz para silo se destina básicamente para alimentar ganado vacuno. El uso de ensilajes de planta entera de maíz es parte primordial de la alimentación de vacas lecheras en nuestro país y es fundamental en el período otoño – invernal, cuando las pasturas no son adecuadas para cubrir las necesidades de los rodeos (Alesandri, 2012). En este momento es necesario realizar una suplementación para cubrir los requerimientos de producción, siendo parte de la suplementación realizada con reservas forrajeras. Los cultivares empleados son esencialmente híbridos de maíz (forrajero o dulce) (Alesandri, 2012).

En base a los datos de la DIEA (2011) el departamento en donde más se realizan cultivos anuales forrajeros, es en el departamento de Canelones (2.302 explotaciones), luego le siguen Colonia, San José y Florida con 1.793, 1.604 y 1027 explotaciones, respectivamente. A su vez, de estos datos se desprende que los departamentos presentan el mismo ranking en lo que refiere a explotaciones menores a las 500 hectáreas, con 99,0%, 92,0%, 91,7% y 79,0% del total de las explotaciones departamentales. Sin embargo, en lo que respecta a las explotaciones que realizan lechería el orden difiere, siendo San José el departamento que posee mayor número de explotaciones lecheras (1.269), siguiendo Colonia (941), Florida (515) y Canelones (432).

Esto evidencia, la importancia de los cultivos forrajeros anuales (dentro de los cuales se encuentra el cultivo de maíz) en las explotaciones familiares y la vinculación que estos tienen con la producción lechera nacional; la cual se encuentra fuertemente asociada a la producción familiar.

2.3.3. Manejo, uso y conservación del maíz en nuestro país

Dado que el maíz es una especie alógama existe una heterogeneidad de situaciones para determinar razas en maíz, siendo necesario el uso de dos niveles para clasificar las razas: complejo racial y subrazas (Silva et al., 2020).

Silva et al. (2020) indican que las razas de maíz se definen como un conjunto de variedades criollas con características comunes que permiten ser reconocidas y separadas en grupos, están adaptadas a las condiciones ambientales, se asocian a determinados contextos sociales y culturales y son el producto de la selección de los agricultores/as, que genera diversidad y permite la conservación de su identidad genética. Estos autores también explican que el complejo racial está formado por un conjunto de razas con características comunes (por ejemplo: color de grano, forma de la espiga, etc.) pero que a su vez, tienen cierta variabilidad relacionada a características de adaptación (por ejemplo: ciclo), en otras palabras son un conjunto de variedades criollas que no presentan características típicas de una raza única (tienen características que se encuentran dentro de variedades fenotípicas de más de una raza, pero dentro del mismo grupo de endosperma). Finalmente, según los mismos autores las subrazas, son unidades inferiores que difieren del grupo en solamente una característica; por ejemplo: origen geográfico (como es el caso del Dente Branco Paulista y Dente Branco Riograndense, que pertenecen a la raza Dente Branco).

En Uruguay en los últimos años, ha disminuido la diversidad en el germoplasma local de maíz, siendo este fenómeno causado por la disminución en el número de productores (principalmente productores/as familiares) llevando a un predominio de la agricultura industrial. Además, Porta Umpiérrez (2016) sostiene que hay una coexistencia entre la producción industrializada mayoritaria en volumen, basada en el uso de híbridos modernos, principalmente transgénicos (eventos para resistencia a insectos y resistencia a herbicidas), con la producción tradicional de maíz para utilización propia y artesanal, minoritaria en área y mayoritaria en número de productores. Esta última, es la encargada de la manutención de una gran diversidad de variedades criollas; conformando las variedades criollas una parte significativa en la producción familiar (Porta Umpiérrez, 2016; Silva et al., 2020).

Silva et al. (2020) señalan que actualmente se cultivan 10 razas y 3 complejos en Uruguay. En el estudio de razas de maíz de Brasil y Uruguay, estos autores observaron que en nuestro país las razas indígenas Lenha y Caingang, que fueron indicadas por Brieger et al. (1958) y Paterniani y Goodman (1977), respectivamente, no fueron registradas entre las 859 variedades criollas evaluadas en 1978, mientras que las demás razas o cambiaron de nombre o cambiaron de grupo (*Catálogo de recursos genéticos*, 1983; Gutiérrez Chacón, 2001).

Es necesario la revalorización de los recursos genéticos de variedades criollas de maíz para la conservación *in situ* y la utilización de éstos. Para ello, es necesaria la identificación de las regiones geográficas donde existen variedades criollas conservadas por los agricultores/as, la caracterización de las variedades y la utilización según quiénes las conservan (Porta Umpiérrez, 2016).

En base a la necesidad e importancia de realizar actualizaciones de las clasificaciones de razas de maíz, Silva et al. (2021) elaboraron un catálogo de razas de maíz de Brasil y Uruguay con los objetivos de identificar y registrar la diversidad de variedades criollas conservadas por agricultores/as en distintos biomas/territorios, clasificar e identificar antiguas y nuevas razas de maíz y ampliar el conocimiento sobre los recursos genéticos de maíz de las Tierras Bajas de América del Sur. Se obtuvieron datos importantes sobre la relación existente entre los agricultores/as y las variedades criollas.

Nuestro país cuenta con una colección *ex situ*, del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) en el Banco de Germoplasma de ‘‘La Estanzuela’’ compuesta por 852 accesiones colectadas por Facultad de Agronomía en predios de productores en 1978 y una réplica en el CIMMYT en México (Porta Umpiérrez, 2016). Esta colección fue caracterizada y clasificada solamente en base a características fenotípicas de grano, espiga y planta entera (*Catálogo de recursos genéticos*, 1983; De María et al., 1979; Gutiérrez Chacón, 2001).

A su vez, Silva et al. (2020) establecen que la diversidad de razas mantenidas en algunas zonas de Uruguay en 1978 es semejante a la presente en Paraguay y Bolivia (sitios tradicionalmente considerados de mayor diversidad).

2.4. MEJORAMIENTO GENÉTICO EN MAÍZ

Lobell et al. (2008) como se cita en Prassana (2012) apuntan que la expansión incontrolada del área agrícola no puede ser la solución para las crecientes demandas en alimentos, ya que podría amenazar los recursos naturales. El cambio climático afectará negativamente la producción agrícola e impedirá que muchas zonas alcancen los niveles necesarios para la seguridad alimentaria futura.

Prassana (2012) indica que la diversidad de varios cultivos importantes, incluido el maíz, está amenazada por la rápida urbanización y la erosión del hábitat, así como por fenómenos climáticos extremos e impredecibles (aumento de sequías, calores extremos e inundaciones). De acuerdo con este autor son necesarios esfuerzos para desarrollar cultivares de maíz resilientes al cambio climático y al mismo tiempo acelerar el aumento del rendimiento, sin los cuales el resultado será hambre e inseguridad alimentaria para millones de consumidores pobres.

En los últimos años, las herramientas para emplearse en el mejoramiento genético del maíz han ido en aumento, con una tendencia a la utilización de herramientas modernas. En este sentido la dificultad que encuentran los mejoradores es identificar la herramienta (en medio de un número creciente de opciones a elegir) que se adecue mejor a sus recursos financieros limitados y, por ende, que maximice la ganancia genética y el retorno económico (Andorf et al., 2019). El autor mencionado también señala que el cambio climático puede fomentar el uso de recursos genéticos más amplios, generando que a largo plazo disminuya la brecha entre los rendimientos reales y potenciales, y eleve los rendimientos potenciales.

El maíz posee una gran diversidad genética con increíbles oportunidades de mejora genética. Hay una enorme cantidad de alelos en el germoplasma mundial de maíz que contribuyen a un mayor rendimiento, tolerancia a estreses abióticos, resistencia a enfermedades o mejora en la calidad nutricional (Prassana, 2012). No obstante, estos alelos suelen estar dispersos en una amplia gama de razas locales o poblaciones. La capacidad para ampliar la base genética del maíz y producir cultivares adaptados al clima, con alto rendimiento y adaptables a diversas zonas agroecológicas, dependerá del descubrimiento y la introgresión eficiente y rápida de alelos y haplotipos nuevos/favorables (Prassana, 2012).

Poehlman y Sleper (2005) indican que el fitomejoramiento comenzó cuando los humanos aprendieron a buscar las mejores plantas para cosechar. Según los mismos autores la mayor parte de las especies cultivadas, evolucionaron hace milenios desde ancestros silvestres, donde la domesticación de las especies silvestres fue acelerada por la práctica temprana de cosecha de plantas mutantes que tenían caracteres útiles. En América, domesticaron el maíz que poseía granos pequeños y muy duros. A medida que avanzaba la evolución y el cultivo, los pueblos nativos de América, seleccionaron plantas y granos muy diferentes generando diferentes razas de maíz, desde maíces de semilla pequeña y endosperma duro en (América del Norte) a maíces de semilla grande y endosperma farináceo (Centroamérica y Sudamérica) (Poehlman & Sleper, 2005).

Andorf et al. (2019) destacan que el maíz es cultivado en áreas aproximadamente similares en ambientes tropicales y templados, aunque el 70% de la producción de maíz se produce en zonas templada. En términos generales, los recursos destinados al mejoramiento genético de maíz han sido en mayor proporción empleados en el mejoramiento del maíz en este tipo de climas, que los que se han destinado al mejoramiento del maíz en los trópicos.

Por otra parte, Martínez Álvarez (2015) sostiene que una de las mayores contribuciones realizada por la ecofisiología al fitomejoramiento fue la identificación de las etapas del desarrollo del cultivo más sensible al estrés (períodos críticos). Además, apunta a la utilización del intervalo anthesis-floración, como el mejor uso de estos conceptos en los programas de mejoramiento de maíz como criterio para seleccionar aquellos que se adapten mejor a situaciones de estrés.

Andorf et al. (2019) señalan que el cultivo de maíz presenta una importancia doble a nivel mundial ya que es el cultivo agrícola más cultivado en el mundo y una planta modelo experimental. Esto se debe a que esta planta posee un genoma complejo y diverso, que permite comprender mejor la genética, la citogenética y la genómica. Además, ofrece una rica reserva de diversidad genética para crear germoplasma mejorado.

La selección genómica es una extensión de los métodos de selección tradicionales, donde muchos genotipos son evaluados por su ADN (genotipado) y por sus características agronómicas (fenotipado), a través de esta base de datos se generan algoritmos que son utilizados luego para seleccionar sólo genotípicamente genotipos promisorios (Andorf et al., 2019). Estos genotipos, podrían lograrse con tecnología recombinante tradicional (cruzando genotipos seleccionados). Sin embargo, existen desafíos para comprender las

variaciones de los rasgos (pequeños efectos genéticos y la dificultad en las predicciones de interacciones complejas) (Andorf et al., 2019).

Otro recurso importante para el fitomejoramiento son los parientes silvestres. Prassana (2012) subraya que, a pesar de las diferencias en la morfología de las mazorcas y las semillas entre el teocintle y el maíz, todas las especies de teocintle pueden hibridarse con el maíz en condiciones naturales.

Cruces de maíz con *Z. mays* ssp. *mexicana* y *parviglumis* son las más comunes y fértiles, aunque algunas cruzan barreras. Prassana (2012) indica que algunas de las variedades locales de maíz mexicanas portan los alelos de los genes que permiten superar las barreras de cruce. Según el mismo autor estos genes pueden impedir el crecimiento del polen de maíz en el teocintle, preservando así la identidad genética de esta especie, pero generalmente no impiden la hibridación del polen de teocintle y previenen que los híbridos de maíz y teocintle se retrocruce con maíz. Del mismo modo, este autor apunta a la utilidad de los parientes silvestres del maíz (*Teocintle* y *Tripsacum dactyloides*) para desarrollar maíz genéticamente mejorado en términos de resistencia a *Striga* spp. (prevalente en África).

Menkir et al. (2006) y Amusan et al. (2008) como se cita en Prassana (2012) a partir de un trabajo realizado durante años en el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA), desarrollaron un híbrido resistente a *Striga hermonthica*, que presenta en su genotipo una accesión de *Zea diploperennis* así como germoplasma de maíz tropical.

Por lo tanto, la actual revolución en las tecnologías del ADN ofrece oportunidades para comprender las relaciones genéticas, la diversidad y la evolución del maíz. Los desafíos son generar datos fenotípicos de alta calidad de variedades locales, además de variedades puras de maíz de élite, integrarlos con datos de genotipado de alta densidad, para comprender y utilizar la enorme diversidad genética; comprender los efectos del cambio climático en la diversidad de variedades criollas y monitorear los patrones de cambio (dinámica metapoblacional), junto con políticas y acciones apropiadas a nivel de predio (Prassana, 2012).

2.4.1. Métodos de mejoramiento genético

Un programa de mejoramiento genético debe iniciar reuniendo colecciones de germoplasma (recursos genéticos) de la especie a partir de distintas fuentes. Para Poehlman y Sleper (2005) las colecciones de germoplasma pueden originarse de híbrido o cultivares comerciales productivos, poblaciones de mejoramiento mejoradas, recursos genéticos introducidos de bancos de genes o centros de introducción de plantas o de colecciones locales si la especie es nativa del área o ha sido cultivada continuamente en el área durante mucho tiempo. De acuerdo con estos autores en los cultivos de polinización cruzada, los métodos de mejoramiento genético se basan fundamentalmente en el principio del mejoramiento de la población (aumentar la frecuencia de genes de la población para alcanzar los objetivos trazados).

Dentro del fitomejoramiento del maíz pueden identificarse dos grandes tipos de mejoramiento, los que se utilizan para el fitomejoramiento de las VPA y los que se utilizan para mejorar a las variedades híbridas o comúnmente conocidas como híbridos.

Según Poehlman y Sleper (2005), los métodos que se emplean para el mejoramiento de las VPA son:

-Selección masal: estos autores sostienen que se emplea para mantener VPA y obtener nuevas. Se seleccionan espigas de VPA con base en características fenotípicas de la planta y la espiga. Las semillas de las espigas seleccionadas se mezclan y se siembran en masa. En este método de selección recurrente, la planta es la unidad de selección y la selección se repite a cada generación. Este tipo de selección puede ser eficaz para mejorar el rendimiento., por ejemplo, el peso del grano (y no características fenotípicas no relacionadas).

-Mejoramiento genético de espigas por surco: según los mismos autores consiste en desgranar por separado de 50 a 100 espigas y se siembra parte de la semilla de cada espiga (una espiga por surco), la semilla restante de cada espiga se etiqueta y se almacenan por separado. Cada surco es calificado considerando caracteres deseables y se cosecha para determinar el rendimiento con el objetivo de identificar los surcos superiores. Los lotes de semillas restantes de los surcos superiores se mezclan y utilizan para establecer el segundo año una parcela de polinización libre, a partir de esta se seleccionan espigas para repetir el proceso. Con este método pueden modificarse características fenotípicas de planta y de grano, al igual que en la selección masal, pero con mayor velocidad gracias a que la fuente de polen es conocida y se limita. En caso de características como el rendimiento el método de espigas por surco es ineficaz.

-Hibridación varietal: de acuerdo con estos autores la hibridación entre VPA de maíz, sea en forma intencional o accidental. Este método originó muchas de las variedades comerciales de VPA de maíz. Consiste en eliminar la espiga de una VPA y se poliniza con una segunda variedad que crece en un surco adyacente. Al sembrar las semillas del surco desespigado, se logra aumentar el rendimiento. Fue un método pensado para la producción de semilla propia cruzada por parte de los agricultores, que se parece a los métodos actuales de producción de semilla híbrida. Esta tecnología nunca se popularizó entre los agricultores.

A su vez, Poehlman y Sleper, (2005) indican que en el caso del mejoramiento genético de variedades híbridas los métodos que se pueden utilizar son diferentes a los empleados para las VPA. Estos métodos son:

-Cruzas simples: según los autores es una craza simple es la progenie híbrida derivada de una polinización entre dos líneas endogámicas homocigóticas. Las plantas de cruzamiento simple son heterocigotas en todos los loci en los que los padres difieren, pero, dentro del cruzamiento, las plantas son genéticamente idénticas (o casi). En el campo, el híbrido es uniforme fenotípicamente, en madurez y potencial de rendimiento. Aun así, presenta el vigor y la productividad perdidas en la endogamia. Las líneas endogámicas (LEN) modernas son más vigorosas y productivas que las creadas con anterioridad, y el tamaño

y la forma de los granos se asemejan a los de los híbridos. Estas mejoras han hecho posible a los productores de semilla ingresar al mercado y a los agricultores/as cultivar híbridos. Los progenitores, se siembran en surcos separados en un campo aislado. La elección de la LEN que se utilizará como padre o madre estará determinada por la que produzca mayor cantidad de polen y la que produzca más semillas. Un sistema de siembra que se utiliza comúnmente consiste en sembrar un surco de plantas padre por cada cuatro surcos de plantas madre. Los surcos de estas últimas, se desespigan y se dejan polinizar por el polen llevado por el viento. El surco de plantas padre se quita luego de la polinización para evitar que se mezclen las semillas en la cosecha.

-Cruzas triples: los autores mencionados indican que es la progenie híbrida de un cruzamiento de tres líneas que utiliza como planta madre a la crusa simple proveniente del cruzamiento de dos LEN emparentadas y a una LEN no emparentada como la planta padre. Las dos LEN emparentadas son genéticamente similares en lo que se refiere al tipo vegetal pero genéticamente distintas al grado de que cuando se cruzan se expresa la heterosis para el vigor y el rendimiento.

-Cruzas dobles: para los autores una crusa doble es la progenie híbrida de un cruzamiento entre cuatro LEN no emparentadas. Las LEN se cruzan en pares para producir dos cruzas simples, que a su vez se cruzan para producir la crusa doble.

-Cruzas superiores: de acuerdo con estos autores es una crusa superior (llamada también cruzamiento de variedades endogámicas) se lleva a cabo polinizando una LEN o una crusa simple con polen de una población genéticamente heterogénea.

-Cruza múltiple: una crusa múltiple es el producto de cualquier combinación de cruzamientos en la que se utilicen más de cuatro LEN.

-Androesterilidad citoplasmática: según los mismos autores en 1950 se introdujo un sistema de androesterilidad citoplasmática y genes restauradores de fertilidad que sustituyó al desespigamiento en la producción de maíz híbrido. El citoplasma androestéril empleado en ese entonces se obtuvo de la VPA ‘Mexican June’ y se hizo conocido como citoplasma tipo Texas (cms-T). La fertilidad era restaurada por los genes restauradores Rf1 y Rf2 y otros genes modificadores. El citoplasma androestéril y los genes restauradores de la fertilidad fueron introducidos en las líneas endogámicas mediante una serie de retrocruzamientos.

2.4.2. Híbridos y Variedades de Polinización Abierta

Los agricultores/as e indígenas de América desarrollaron el cultivo de maíz y métodos para la producción de semillas mediante la selección de espigas y plantas, basándose en características deseadas. Luego, este proceso de selección masiva en el que cada año se guardaban semillas se dispersó por el mundo. Esta selección llevó a la producción de cultivares ampliamente utilizados, como el King Philip Flint mejorado, Leaming y Silver King. También, formó la raza de Corn Belt Dent y cultivares como Reid's Yellow Dent, Krug's Yellow Dent y Falconer al cruzar dos tipos raciales (Kutka, 2011).

Tomando como referencia estos métodos de selección y cruzamiento que llevaban a cabo agricultores/as e indígenas a lo largo de años, surge lo que se conoce actualmente como VPA (Kutka, 2011).

Kutka (2011) indica que, a inicios del siglo pasado, los fitomejoradores y extensionistas fomentaron el uso de técnicas de selección que se consideraban mejores respecto a las tradicionales. Este autor sostiene que estos métodos se basaban en la selección masiva por caracteres de espiga y semillas que se creían relacionadas con el rendimiento en lo que denominaron “variedades puras” y se promovieron sistemas de selección más intensivos. Además, el autor señala que se realizaron exposiciones por parte de universidades y asociaciones de productores que impulsaron los maíces con “espigas perfectas”, maduras y uniformes. Es así, que comienzan a fomentarse, emplearse y utilizarse los cultivares híbridos.

Salhuana et al. (1997) plantean que las VPA se obtienen a través de procesos de polinización en los cuales no hay intervención del hombre, se genera descendencia fértil y cada individuo es genéticamente distinto. Según estos autores, las VPA presentan adaptación a distintas condiciones ambientales, pero presentan la desventaja de la desuniformidad fenotípica que en casos extremos podría generar problemas en el manejo de los cultivos. La desuniformidad que puede presentar una VPA dependerá de la selección que se haya realizado durante su proceso de obtención y del mantenimiento que se haga de las distintas categorías de semillas. Para disminuir la desuniformidad, lo que se puede hacer es eliminar aquellos individuos extremos que son producidos por recombinación todos los años. A causa de su adaptación ambiental, presentan buenos rendimientos (Salhuana et al., 1997).

Las VPA han sido y son en muchos casos útiles para proporcionar semillas a bajo precio y rendimientos confiables a los agricultores, aunque generalmente producen menos que los cultivares híbridos. Sin embargo, en agroecosistemas de menores rendimientos y mercados de precios más bajos las VPA presentan mayor competitividad que los híbridos (Kutka, 2011).

Andorf et al. (2019) señalan que el maíz tiene una organización reproductiva conveniente con flores masculinas y femeninas separadas en la misma planta, lo que permite tanto una autopolinización económica para el desarrollo de LE como una polinización cruzada controlada para la producción de semillas híbridas. Probablemente sea por esto por lo que se implementó por primera vez el mejoramiento híbrido en el maíz después del descubrimiento de la heterosis.

Salhuana et al. (1997) plantean que los híbridos se obtienen a través de procesos de polinización controlada y dirigida de LE seleccionadas por su aptitud combinatoria y general, produciendo descendencia fértil genéticamente igual. Estos autores también explican que se obtienen cultivos uniformes fenotípicamente, los cuales simplifican manejos pero que a la vez son vulnerables a eventos climáticos, ataques de plagas y/o enfermedades.

Los híbridos a diferencia de las VPA son mayormente utilizados por agricultores con cultivos de maíz de alto valor y grandes empresas que comercializan semillas (ya que son las encargadas de obtener y sustentar las LE que originan los híbridos) (Kutka, 2011).

Actualmente la mayor parte de la producción mundial de maíz proviene de materiales híbridos. Como señalan Andorf et al. (2019) los híbridos desarrollados por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) rinden 20% más que las VPA en condiciones óptimas, y la diferencia pasa a 30–60% en condiciones de estrés. Sin embargo, estos autores sostienen que las VPA proveen el mayor suministro de semillas en algunas regiones, siendo proporcionadas por sistemas de mejoramiento formal (por ejemplo, África occidental).

Kutka (2011) señala que las ganancias de rendimiento a través del mejoramiento son aproximadamente las mismas tanto para VPA como para híbridos, pero comenzando con un nivel de rendimiento más bajo, la mayoría de las VPA actuales parecen quedar permanentemente relegadas a niveles de rendimiento más bajos en comparación con la mayoría de los híbridos. Por otra parte, sostiene el autor que, con los nuevos métodos de fitomejoramiento, las nuevas VPA podrían ser competitivas en costos en muchos más agroecosistemas que los actuales, y este proceso podría abrir más asociaciones para mejorar el maíz con características no patentadas (tolerancia al estrés, resistencia a insectos y enfermedades, etc). También existen oportunidades para un mayor desarrollo y producción de híbridos a nivel de predios que apunten a resultados sostenibles.

2.5. BLANCO CANGÜÉ

La raza de maíz blanco dentado fue introducida en Sudamérica a finales del siglo XIX y comienzos del siglo pasado proveniente del sur de Estados Unidos (Paterniani, 2001; Paterniani & Goodman, 1977) y durante los años 1920 y 1930 se convirtió también en un importante alimento básico para la población del este y el sur de África. En Uruguay, los maíces blancos dentados fueron introducidos tempranamente y su uso continúa hasta los días de hoy. Actualmente, una de las principales variedades de maíz blanco sembrada por los productores es el Blanco Cangüé, una VPA que pertenece a la raza Blanco Dentado.

El maíz dentado, debe su nombre a la forma de diente que presentan sus granos. Vilaró (2013) indica que esto se debe a que el endosperma del grano tiene más almidón blando que los tipos duros, y el almidón duro está limitado a los lados del grano, por lo que al perder humedad el grano, se produce una hendidura en la corona, brindándole apariencia de diente. Los granos son de color amarillo o blanco. Este tipo de maíces, son característicos en Estados Unidos, México, Europa y Sudáfrica (Vilaró, 2013).

Además, este tipo de maíz dentado es el más utilizado para grano y ensilaje. Su cultivo presenta un mayor rendimiento, pero tiene como desventaja su mayor susceptibilidad a infecciones por hongos e insectos. Ocupa casi 30 millones de hectáreas en los trópicos. Los granos de color blanco se usan para alimentación humana mientras que los de color amarillo se usan para alimentación animal (Sánchez, 2014).

Alesandri (2012) indica que el Blanco Cangüé tiene sus orígenes a partir de una colecta que se realizó durante los meses de marzo a junio de 1978. En ese momento se colectaron 859 variedades criollas de maíz en nuestro país incluyendo 17 departamentos. De María et al. (1979) plantean que la colecta se realizó en el marco del proyecto de investigación realizado entre la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República y el International Board of Plant Genetic and Resources (IBPGR) y estuvo a cargo del Ingeniero Agrónomo José L. De León. Según el mismo autor el proyecto hizo parte del programa “Colección, Conservación y Evaluación de Germoplasma de Maíz en la Región Oriental de América del Sur”, en Argentina, Bolivia, Brasil, Paraguay y Uruguay.

Según De María et al. (1979) las espigas de las distintas poblaciones se recolectaron en predios de agricultores durante e inmediatamente después de la cosecha, siendo recogidas de las chacras o de los depósitos de granos conformando una cantidad mínima de 15 espigas por población. Estos autores sostienen además que las variedades que se recolectaron fueron aquellas cultivadas por los agricultores durante años y se recolectaron datos de origen y características de los granos. También, los autores plantean que en base a las características de espigas y granos se determinaron 17 grupos. En el año agrícola de 1978-1979 se realizó la evaluación a campo del material recolectado en lo que se conocía en aquel momento como la Estación Experimental "Dr. Backhaus, actualmente el predio de la Granja en la Facultad de Agronomía. En ese momento se evaluaron ochocientos cincuenta y dos de las accesiones colectadas según 17 variables morfológicas y agronómicas cuantitativas en la tesis de De María et al. (1979).

En ese momento se realizaba por primera vez una clasificación taxonómica en razas, donde la Raza Blanco dentado presentaba 90 accesiones. De María et al. (1979) indican que a separación en grupos se llevó a cabo por el método de análisis de conglomerados, que consiste en agrupar elementos en conglomerados, o clusters, tales que las diferencias entre los elementos que forman parte de un conglomerado sean mínimas, y las diferencias entre los conglomerados sean máximas; para ello se utilizó el programa Wishart con los métodos de Ward, vecino más cercano y vecino más lejano para el cálculo de las distancias.

En el año 1981 el grupo de Fitotecnia de la Facultad de Agronomía buscando obtener una variedad para uso forrajero exitosa, formó un compuesto racial el cual, luego de evaluado y homogeneizado, fue entregado a productores, quienes lo conservaron y multiplicaron, durante cinco años (Ramos et al., 2013).

En 1987, los materiales descendientes del compuesto racial original entran al programa de mejoramiento de la Facultad de Agronomía, donde por medio de selección masal y masal estratificada, y seleccionando en base a características agronómicas de rendimiento y calidad de espiga, finalmente se obtiene la VPA Blanco Cangüé (Alessandri, 2012; Ramos et al., 2013).

Alesandri (2012) señala que, en el año de 1996, se presenta por primera vez en el Programa Nacional de Evaluación de Cultivares, donde desde ese momento hasta el año de 2011/2012 pasó por 11 evaluaciones en 8 años. A su vez este mismo autor indica que,

en el CRS de la Facultad de Agronomía, entre los años 1999 y 2002, se realizaron estudios sobre calidad nutricional para pastoreo y para ensilaje.

En el 2007, el Blanco Cangüé es registrado en el Instituto Nacional de Semillas (INASE), siendo hasta el momento el único cultivar mejorado a partir de germoplasma local. La primera categoría de Semilla Fundación fue cosechada en 2008 (R. Vidal, comunicación personal, s.f.).

De acuerdo con la evaluación de ensilado en 16 predios de productores de San José, Canelones y Florida el cultivar Blanco Cangüé se destaca como alternativa para los productores por su adaptación, rendimiento y calidad nutritiva (Alesandri, 2012).

Desde sus primeras evaluaciones, el maíz Blanco Cangüé ha sobresalido por su notable capacidad para producir tanto materia seca como grano, superando en estos aspectos a varios híbridos (Alesandri, 2012). Según Padrón y Lust (1986) los materiales predecesores al Blanco Cangüé ya poseían grandes cualidades productivas. Además, Medina Scaglia (2001) señala que el Blanco Cangüé se adapta bien a las condiciones locales para la producción de silo, lo cual ha sido comprobado a través de estudios sobre el rendimiento de materia seca realizados por el INIA.

El Blanco Cangüé ha participado por muchos años en la Evaluación Nacional de Cultivares donde ha presentado muy buenas performances. Según Alesandri (2012) hay años que, debido a las buenas condiciones ambientales, su comportamiento se ve favorecido frente a otros cultivares como el período de 1996 a 1998, otras zafras, como las de 2004/2005 y 2008/2009 (años particularmente problemáticos, asociados a problemas de estrés hídrico, que afectaron negativamente la performance de los ensayos), presenta una diferencia muy baja frente al cultivar con el mejor comportamiento para esos y, además, la superioridad con respecto a la media es mayor.

En el año 2011 se importaron 3.532 tt de semilla de maíz al Uruguay lo que equivale a USD 17,9 millones. Un gran porcentaje de la semilla de maíz que se siembra en nuestro país es híbrido, y los costos de manutención (entre los que figuran el mantenimiento de las líneas endocriadas) son mayores a los costos de manutención de una VPA. Debido a esto, la semilla de una VPA, como lo es la del maíz Blanco Cangüé, representa una alternativa mucho más económica para los productores (Alesandri, 2012).

Debe destacarse que la raza Blanco Dentado, es particularmente importante por su potencial forrajero y silero en términos de rendimiento, debido a su buena adaptación ya que fue mejorado en condiciones de producción locales y a que se utilizaron variedades criollas para su selección (Salhuana et al., 1998). El tamaño de espiga es una característica asociada a la calidad en maíces para silo y forraje. Esta característica se utiliza en la selección de espigas para emplearse en el método basado en progenies de medios hermanos.

El método basado en progenies de medio hermanos ha sido el más utilizado, debido a su facilidad de conducción y eficiencia para incrementar la frecuencia de genes favorables en poblaciones, permitiendo el logro de un rápido progreso (Matta, 2000). Es por ello,

que se puede emplear como método para mejorar algunas características problema en la VPA Blanco Cangüé, como es el caso del vuelco.

El vuelco era una característica problema en el Blanco Cangüé, así en la Evaluación Nacional de Cultivares Blanco Cangüé la susceptibilidad al vuelco y quebrado se destaca por quedar en el rango de valores más alto para ambas características, esta característica puede estar explicada por la altura de planta (promedio de más de 200 cm) y principalmente por la altura de inserción de la espiga (Alesandri, 2012). Además, señala que presenta una duración del ciclo hasta el momento de floración de 76 días. Un ciclo largo hasta la floración, como en este caso, suele asociarse a un mayor crecimiento vegetativo, lo que contribuye a una mayor altura de la planta, incrementando el riesgo de vuelco debido al desarrollo más prolongado del tallo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

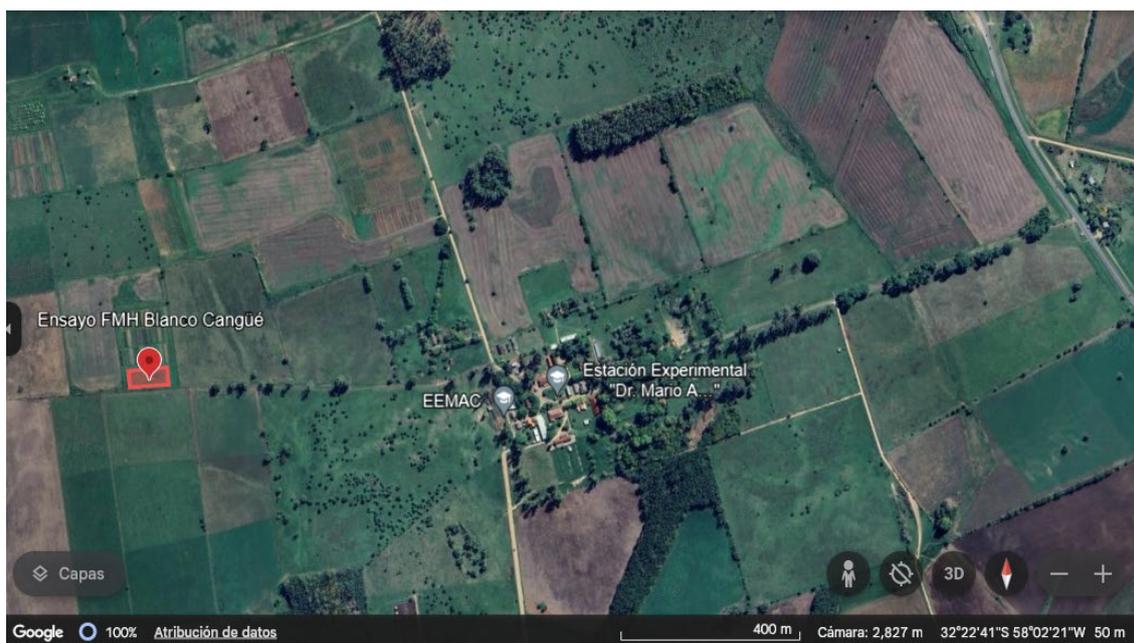
3.1. CARACTERIZACIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL

3.1.1. Localización

Para el presente trabajo se implantó el experimento en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni (EEMAC) de Facultad de Agronomía, Paysandú en Ruta 3 km 363. En la Figura 1, se muestra la localización del experimento ($32^{\circ}22'48''\text{S}$ $58^{\circ}03'45''\text{W}$).

Figura 1

Ubicación del ensayo en la EEMAC



Nota. Adaptado de Google (2023).

3.1.2. Preparación del suelo e información meteorológica

La preparación del suelo consistió en un laboreo primario a fines de noviembre con rastra de discos. Pevio a la instalación del ensayo, en el mes de diciembre, se realizó laboreo secundario con una rastra de dientes.

Uruguay muestra un clima templado a subtropical. Presenta temperaturas anuales medias de $17,7^{\circ}\text{C}$, las cuales oscilan entre los $19,8^{\circ}\text{C}$ para la zona Noroeste y los $16,6^{\circ}\text{C}$ en la costa Sur del país (Castaño et al., 2011). Se observa que las temperaturas medias más altas se presentan en los meses de enero y febrero y son del orden de los $22,6^{\circ}\text{C}$, mientras que las temperaturas medias más bajas se registran en los meses de junio y julio y son del orden de los $12,9^{\circ}\text{C}$.

Los valores medios de precipitación acumulada anual se sitúan entre 1200 y 1600 mm, con un gradiente incremental de suroeste a noreste. Las precipitaciones medias suelen ser más o menos uniformes durante el año, pero existe una gran variabilidad entre años.

Los valores medios de evapotranspiración acumulada anual se sitúan entre 1000 y 1200 mm, presentando un claro comportamiento estacional manifestándose los valores más altos durante los meses de verano con valores de 160 a 185 mm/mes y los valores más bajos en los meses de invierno con 25 a 35 mm/mes.

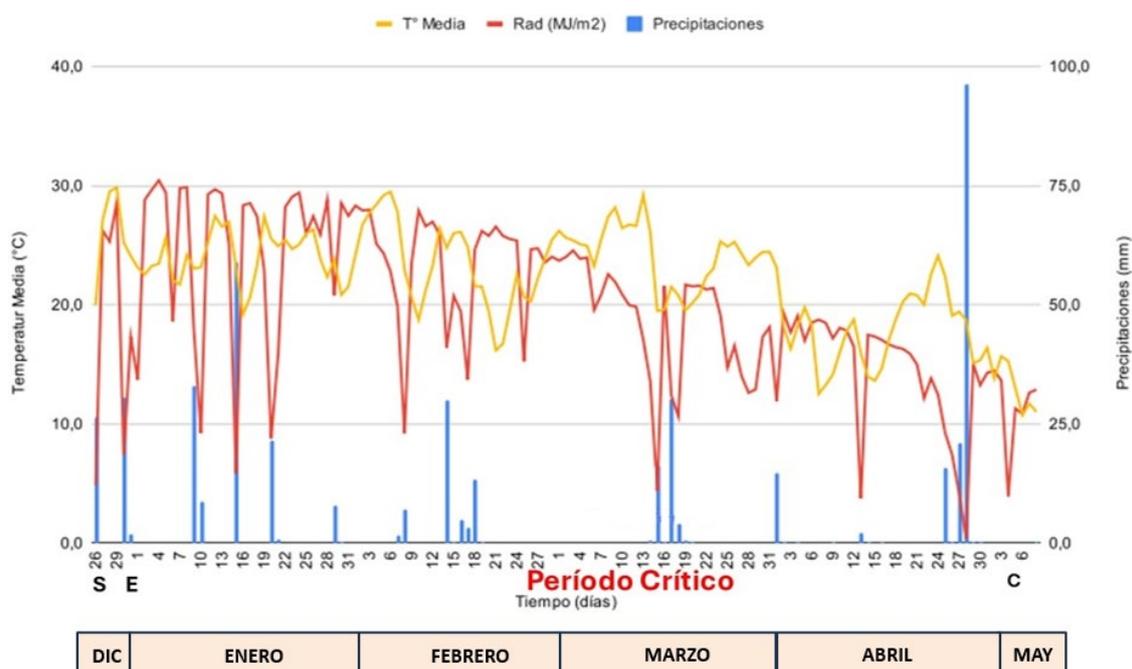
Los suelos presentan en promedio un menor contenido de agua desde el inicio de primavera hasta el inicio del otoño, con valores más bajos durante los meses del verano, con no más de 60% de agua disponible, debido a que se registra mayor evapotranspiración que precipitaciones. En el mes de enero, se observan los valores más bajos (valores inferiores a 50%), situándose por debajo de los umbrales críticos para cultivos extensivos (Castaño et al., 2011).

La Estación Agrometeorológica de la EEMAC está ubicada en 32°38'02,20" S 58°58'29,60" W, con medidas durante los años 2002 al 2020 arroja una temperatura media anual de 18°C y temperaturas medias más altas de 24°C y las más bajas de 12°C. Las precipitaciones anuales promedio para dicho lapso fueron de 1528 mm, mientras que la radiación solar promedio anual fue de 16,2 MJ/□².

Las precipitaciones acumuladas a lo largo del ensayo fueron de 455,0 mm, destacándose que durante el Período Crítico del maíz se registraron 52,2 mm. La radiación solar promedio alcanzó los 19,7 MJ/m² durante todo el ensayo, elevándose a 20,3 MJ/m² en el Período Crítico. En cuanto a la temperatura, la media del ensayo fue de 22 °C (con mínimas y máximas promedios de 16,3 °C y 28,2 °C, respectivamente), mientras que en el Período Crítico se incrementó a 23,8 °C (con mínimas y máximas promedio de 17,2 °C y 30,8 °C, respectivamente), como lo indica la Figura 2.

Figura 2

Condiciones climáticas durante el ensayo



3.2. CARACTERIZACIÓN DEL EXPERIMENTO

3.2.1. Genotipos

Se evaluó el comportamiento de 150 Familias de Medios Hermanos de maíz (FMH), provenientes de una selección masal de las mejores 150 espigas, realizada a partir de una multiplicación de la VPA Blanco Cangüé, llevada a cabo por el Laboratorio de Fitotecnia de Facultad de Agronomía en el Centro Regional Sur (CRS).

Las espigas fueron seleccionadas tomando en cuenta aquellas que presentaban el mayor número de granos por hilera y un diámetro de espiga más amplio.

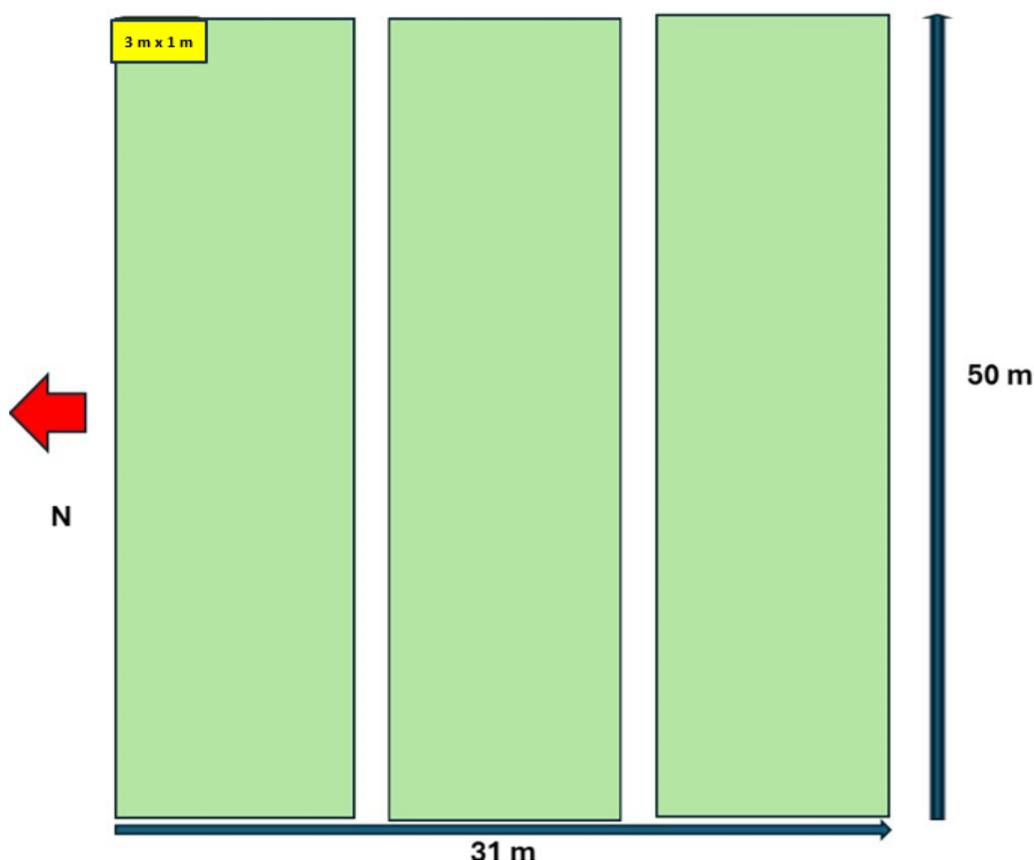
3.2.2. Distribución de plantas y Manejo de malezas, enfermedades, plagas y fertilización

El diseño que se implementó para el ensayo fueron bloques completos al azar con 3 repeticiones. El área de siembra abarcó 1550 m^2 (50 m x 31 m).

Las FMH fueron distribuidas en las parcelas (3 m x 1 m) mediante un sorteo realizado en Excel. Cada parcela contó con 25 semillas, espaciadas aproximadamente a 0,10 m cada una (un palmo entre semillas), a una profundidad de 0,5 m (tomando como referencia el segundo nudillo). Esto determinó que la densidad de siembra fuera de 8,3 plantas/ m^2 , como lo indica la Figura 3.

Figura 3

Diseño experimental



El ensayo fue sembrado entre el 26 y 27 de diciembre de 2019 y cosechado entre el 5 y 8 de mayo de 2020.

Durante el cultivo se realizó control manual de malezas en dos oportunidades por presentar problemas con *Echinochloa spp.*

En lo que refiere a enfermedades, no se registró incidencia y severidad importante que altere el estado sanitario de las plantas.

Para el manejo de plagas, se realizaron monitoreos periódicos, donde se constataron dos ataques de lagarta cogollera (*Spodoptera frugiperda*). Para su control y erradicación, se empleó control químico (agrotóxicos) en ambas ocasiones. En la primera aplicación, se utilizó Emamectin Benzoato en dosis de 50 cc/ha. En la segunda aplicación, se optó por emplear un insecticida con poder residual, Chlorantraniliprole a una dosis de 100 cc/ha. En ambos casos, la decisión de aplicación se basó en el empleo del Umbral de Daño Económico (UDE).

La fertilización se realizó con 100 kg/ha de Urea Azufrada, cuando el cultivo se encontraba en el estadio de V3-V4 aproximadamente.

3.3. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA

Para la caracterización fenotípica de las distintas FMH se utilizaron los descriptores para maíz (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo & International Board for Plant Genetic Resources [CIMMYT & IBPGR], 1991). Las determinaciones para estos, descriptores se realizaron en tres momentos: floración, cosecha y post-cosecha, evaluando el metro central de la parcela.

En el momento de la floración, que ocurrió durante el mes de marzo (entre el 6 y el 21 de marzo), se registró: floración femenina y floración masculina.

Se cosechó el ensayo durante la primera semana de mayo. En este momento, se realizó la determinación de: altura de plantas, altura de espigas, prolificidad, macollaje, fertilidad de macollo, vuelco y quebrado.

Las características de post-cosecha, fueron determinadas en el Laboratorio de Fitotecnia de la Facultad de Agronomía. Para ello, se determinaron las siguientes características: largo de espiga, perímetro de espiga, número de hileras, número de granos por hilera, perímetro de marlo, largo de grano, ancho de grano y espesor de grano. No se pudieron medir características asociadas a la producción de Materia Seca, ya que, en ese momento debido a la Pandemia, no se contaba con los materiales necesarios.

3.3.1. Características determinadas en floración

Se determinó floración masculina (FM) y floración femenina (FF), en base a que el 50% de las plantas del metro central de la parcela hubiesen entrado tanto en floración masculina como femenina. Se determinó FM, cuando se hizo visible la panoja masculina en el ápice apical y FF, cuando en aproximadamente el sexto nódulo el ápice axilar se diferenció una panoja femenina, se hizo visible el complejo estigma-estilo.

3.3.2. Características determinadas en cosecha

La altura de planta (AP), se considera la distancia en cm desde la base de la planta hasta la inserción de la panoja, mientras que la altura de espiga (AE), es la distancia desde la base de la planta a la inserción de la espiga, medida en cm. Para sus estimaciones se midieron las 5 plantas que mejor representaban la característica en la parcela.

El número de espigas por planta (NP), se determinó contando el número de espigas por plantas en 5 plantas representativas de la parcela.

Número de macollos por planta (NM) y número de macollos fértiles (NMF) por planta. Apreciación visual del fenotipo de macollo. Determinado en 5 plantas representativas de la parcela.

Mediante una escala visual de 4 grados donde: 0 planta erecta; 1 hasta 45° de inclinación; 2 más de 45° de inclinación y 3 planta completamente caída. Se determinó el grado de vuelco (V) en 5 plantas representativas.

Mediante una escala visual de 4 grados donde: 0 planta sin quebrado; 1 planta con quebrado en zona superior a la primera espiga; 2 planta con quebrado en zona de inserción de primera espiga y 3 planta con quebrado en zona por debajo de la primera espiga. Se estimó el grado de quebrado (Q) en 5 plantas representativas.

3.3.3. Características determinadas en pos-cosecha

El largo de espiga (LE) es la distancia desde la base al ápice de la espiga, medida en cm. Determinado en 3 espigas del metro central de la parcela. Representativas de la parcela.

El perímetro de espiga (PE) es la medida en cm del contorno de la espiga tomada en el centro de esta. Se estimó en 3 espigas del metro central de la parcela. Representativas de la parcela.

El perímetro del marlo (PM) es la medida en cm del contorno del marlo tomada en el centro de este. Para su determinación se emplearon 3 espigas representativas de la parcela.

El número de hileras (NH) por espiga se determina contando el número de granos en el centro de la espiga. Deben ser valores pares. Se determinó en 3 espigas del metro central de la parcela. Representativas de la parcela.

A partir de la hilera de mayor largo se contabiliza el número de granos por hilera (NG). Se determinó en 3 espigas del metro central de la parcela. Representativas de la parcela.

El largo de grano (LG), se determina la distancia en mm, desde la base del grano hasta el ápice (zona de inserción con la espiga). El ancho de grano (AG), se determina la distancia en mm, entre un extremo y el otro de la base del grano. El espesor de grano (EG) es la distancia en mm entre la cara anterior y posterior del grano. Para la estimación de estos descriptores, se consideraron 10 granos consecutivos de la misma hilera (la hilera de mayor longitud), seleccionando los 5 granos centrales de cada mitad al partir la espiga.

4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se verificó la calidad y variación de los datos construyendo histogramas con los resultados obtenidos.

Para determinar los parámetros estadísticos de cada variable para cada familia se calcularon los valores de media, moda, máximo, mínimo, desvío estándar y coeficiente de variación con *Microsoft Excel*.

Para las variables cuantitativas que presentaron y se verificó que cumpliera con la condición de normalidad se corrió un ANOVA para verificar que las diferencias eran significativas en los casos positivos se hizo un test de medias (Tukey) para identificar grupos de familias diferentes.

Para las variables de tipo cualitativa, se corrió una prueba Chi², utilizando las modas.

Se estimó la Correlación de Spearman entre dos variables, ya que no requiere que los datos presenten distribución normal.

Se realizó un PCA para visualizar los efectos de las variables estudiadas y la distribución de las familias, con el fin de poder examinar al conjunto de características, identificar patrones y relaciones entre las mismas y las FMH y utilizar los resultados de forma efectiva en futuras aplicaciones. El comportamiento que presente una FMH estará determinado por la magnitud de la proyección ortogonal de la misma.

Para el PCA se utilizaron las variables: FM, FF, AP, AE, V, LE, PE, NH, NG, PM, LG, AG y EG. Estas variables fueron las mismas utilizadas para determinar la matriz de correlaciones con la Correlación de Spearman.

Finalmente, se estimó la heredabilidad en sentido estricto (h^2) y la ganancia genética por ciclo de selección (ΔG) de plantas individuales para una intensidad de selección del 20%.

Las fórmulas empleadas para estas estimaciones se presentan a continuación según Nguyen y Sleper (1983), como se cita en Araghi et al. (2014):

$$h^2(\text{por año individual}) = \sigma_f^2 / (\sigma_f^2 + \sigma_e^2 / r)$$

donde σ_f^2 es la varianza entre familias, σ_e^2 es error experimental (familia x replicación), r es el número de replicaciones.

$$\Delta G = kc\sigma_p h^2$$

donde c es el coeficiente de control parental (c = 0,5 asumiendo que solo las madres pueden ser controladas en un esquema de medios hermanos), k es el diferencial de selección estandarizado relacionado a la intensidad de selección (k = 1,4 asumiendo la selección del 20% superior de los individuos), h^2 es la heredabilidad en sentido estricto y σ_p es el desvío estándar fenotípico.

Los Análisis de Varianza (ANOVA), Prueba de Chi Cuadrado (Chi²), Test de comparación de medias (Tukey), Correlación de Spearman, Análisis de Componentes Principales (PCA) y Pruebas de Heredabilidad y Ganancia Genética se realizaron en *Rstudio*.

5. RESULTADOS

Se constataron diferencias muy significativas del orden del 0,05 y 0,10: entre las 150 FMH evaluadas, para tres descriptores cuantitativos evaluados FF, PM y PE y una asociación significativa (con un nivel de significancia de 0,05) entre las FMH y la variable categórica NH.

Los demás trece descriptores no presentaron variación significativa entre poblaciones.

Para el conjunto de las FMH se estimó la media, mínimo, máximo, desvío estándar y coeficiente de variación, para cada variable continua y para las variables cualitativas además se calculó la moda (ver Tabla 1).

Estos parámetros, permiten obtener una visión general de los resultados para cada descriptor asociado a cada una de las FMH.

La media y la moda son parámetros más relevantes para la comparación entre FMH, para variables cuantitativas y cualitativas, respectivamente. Luego les sigue el desvío estándar.

Tabla 1*Estimación de parámetros poblacionales para las 150 FMH*

Medidas estadísticas	FF	FM	AP	AE	NET	V	Q	LE	PE	NH	NG	PM	LG	AG	EG
Mínimo	67	67	1,3	0,7	1	0	0	6,9	7,9	10	10	5,1	8	7	3
Media	71,4	68,9	1,9	1,2	1	1	1	12,7	12,6	13	22	7,9	10	9	4
Moda	71	69	-	-	1	1	0	-	-	12	-	-	10	9	4
Máximo	85	73	2,4	1,6	1	3	3	19,8	18,2	16	42	11,7	12	11	6
Desvío Estándar	3,4	1,0	0,2	16,6	-	0,8	0,6	2,2	1,2	1,2	5,9	0,8	0,8	0,5	0,5
Coeficiente de Variación	4,8	1,5	12,5	14,1	-	87,3	59,3	17,3	9,3	9,6	23,7	10,3	8,9	6,2	12,5

5.1. ANÁLISIS DE VARIANZA Y TEST DE TUKEY PARA VARIABLES CUANTITATIVAS

Se realizó una prueba ANOVA para cada una de las variables cuantitativas, para determinar si existen diferencias significativas entre las medias de las distintas FMH y poder comprender las fuentes de variabilidad.

Con el ANOVA se constató que existen diferencias muy significativas, entre las FMH evaluadas para floración femenina, perímetro de marlo (ambas con un nivel de significancia de 0,05) y perímetro de espiga (con un nivel de significancia de 0,10).

En esa misma línea, se realizó una prueba de Tukey para comparar todas las combinaciones posibles de medias.

En la Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4, a modo de poder resumir la información de los grupos de medias, se colocó la información de los grupos que se formaron con sus respectivas letras. La información completa de los grupos se encuentra en los Anexos (Tabla A1, A2 y A3).

Tabla 2

Grupos, rango de medias y letra según Prueba de Tukey para floración femenina

Nro. de Familias	Rango de Medias	Letra
19	68,3-68,7	a
130	69,0-78,3	ab
1	80,3	b

($p < 0,05$)

Nota. Letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos según la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Grupos que comparten la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí.

Para la característica FF, se identificaron según el Test de Tukey tres grupos: a, ab y b. El primer grupo estuvo formado por 19 FMH, el segundo por 130 y el último por solamente una familia, la familia 61. Las 19 FMH que forman parte del grupo "a", poseen medias para la característica FF, que no son significativamente diferentes entre sí pero que son significativamente diferentes a la media de la familia 61, que compone el grupo "b". A su vez, las 130 FMH que forman parte del grupo "ab" tienen medias que no son significativamente diferentes entre sí. Este grupo, está conformado por FMH que son tan buenas como las mejores, pero también tan malas como las peores. Eso no pasa con las "a". Finalmente, la familia 61 que forma parte del grupo "b" tiene una media para la variable FF que es significativamente diferente a las medias de las demás 149 FMH.

La mejora en esta característica se realiza buscando disminuir el ciclo en días a floración, ya que podría determinar que las plantas presenten menor altura (por ende, menor altura de espiga) y así disminuir el riesgo de vuelco. Además, un menor ciclo a floración permitiría obtener una mejor sincronización entre las floraciones femenina y masculina.

Tabla 3

Grupos, rango de medias y letra según Prueba de Tukey para perímetro de espiga

Nro. de Familias	Rango de Medias	Letra
1	9,87	a
5	10,80-11,27	ab
142	11,30-14,13	abc
1	15,00	bc
1	15,60	c

($p < 0,10$)

Nota. Letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos según la prueba de Tukey ($p < 0,10$). Grupos que comparten la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí.

Por otra parte, para el descriptor PE fueron definidos según Test de Tukey, cinco grupos de medias: a, ab, abc, bc y c. El grupo ‘a’, se definió por solamente una familia (94), el grupo ‘ab’ se compuso por cinco FMH (111, 69, 97, 20 y 128) y el grupo ‘abc’ se formó por 142 FMH lo que determinó que fuese el mayor grupo. Por último, los grupos ‘bc’ y el grupo ‘c’, se definieron por una familia cada uno (46 y 79, respectivamente). La familia 94 perteneciente al grupo ‘a’, tiene una media para la característica PE que es significativamente diferente de las medias de las familias que pertenecen a los grupos ‘bc’ y ‘c’. A su vez, el grupo ‘ab’ (formado por las FMH 111, 69, 97, 20 y 128) presenta medias que no difieren estadísticamente entre sí. El grupo ‘bc’ formado por la familia 46 tiene una media que es diferente estadísticamente de los grupos con letras ‘a’. Por último, el grupo ‘c’ formado por la familia 79 tiene una media que es estadísticamente diferente a todos los demás grupos que no posean la letra ‘c’.

Tabla 4

Grupos, rango de medias y letra según Prueba de Tukey para perímetro de marlo

Nro. de Familias	Rango de Medias	Letra
59	6,20-7,73	a
21	7,77-7,87	ab
68	7,90-9,03	abc
1	10,67	bc
1	10,80	c

($p < 0,05$)

Nota. Letras diferentes indican diferencias significativas entre grupos según la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Grupos que comparten la misma letra no presentan diferencias significativas entre sí.

Al igual, que para la característica PE, para la PM se definieron cinco grupos (a, ab, abc, bc y c). El primer grupo estuvo formado por 59 FMH, el segundo por 21 FMH, el tercero por 68, el cuarto y el quinto grupo se conformaron por una familia cada uno; la 79 y la 46, respectivamente. El análisis realizado para PE sobre los grupos formados se aplica para PM ya que se formaron cinco grupos.

Tanto para PM, como PE la mejora se pretende realizar buscando aumentar los valores de estas características, ya que mayores perímetros, determinarían mayores números de grano y por ende mayor rendimiento. Para estas características las mejores familias serían las que pertenecen a los grupos ‘c’.

5.2. PRUEBA DE Chi2 PARA VARIABLES CUALITATIVAS

Para las características cualitativas, se realizó una Prueba de Chi2, la cual señala una asociación significativa (con un nivel de significancia de 0,05) entre las FMH y la variable categórica NH. Las demás variables categóricas no presentaron asociación.

5.3. CORRELACIONES ENTRE VARIABLES

Luego de estimadas las medias, realizado el ANOVA o la Prueba de Chi2, se estimaron las correlaciones entre las variables. Para este cálculo no se consideraron las variables: macollaje, fertilidad de macollos, prolificidad y quebrado; por tratarse de características que no presentaron variación.

Las correlaciones se clasificaron en tres tipos: 0,26-0,50 (débil), 0,51- 0,75 (entre moderada y fuerte) y 0,76- 1,00 (entre fuerte y perfecta). Por lo tanto, fueron consideradas las correlaciones: PE-LG, PE-NG, LE-PM, LE-PE, PE-PM, LE-NG y AP-AE, como se

muestra en la Tabla 5. Las correlaciones fuertes fueron sombreadas con color rojo y las débiles y moderadas con color anaranjado. Además, debe señalarse que las correlaciones señaladas fueron significativas ($p < 0,05$).

Si bien, la mayoría de las correlaciones fueron débiles, solamente se evaluaron las que se encontraban en el rango superior de esta categoría (más cercanas a 0,50). Por otra parte, se observa que los valores de los coeficientes de correlación no fueron extremos (valores superiores a 0,76) tanto negativos como positivos, esto podría estar siendo explicado por problemas causados por el estrés hídrico que infirió en las estimaciones y a que las mediciones solamente se realizaron en un año.

Por último, de la tabla se desprende, que ciclo no correlaciona con ninguna variable, posiblemente esto estaría explicado con el estrés hídrico al cual estuvieron expuestas las FMH y a que las estimaciones se realizaron solamente en un año.

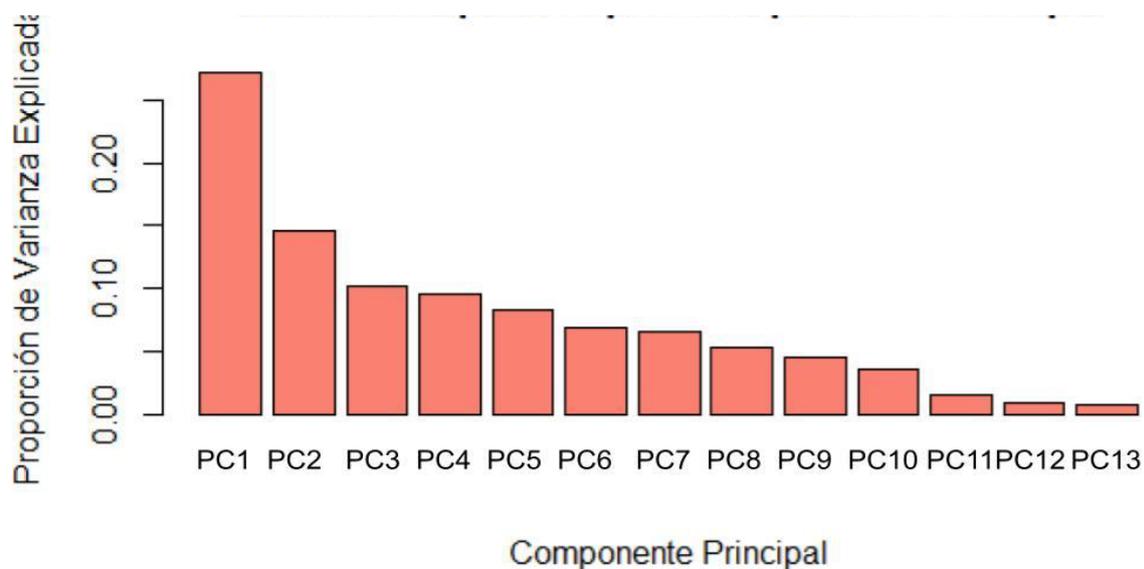
Tabla 5

Coefficientes de correlación para variables con desviación respecto a la media

AG													-0,08											
LG													0,35	-0,17										
PM													0,18	0,03	-0,18									
NG													0,29	0,23	0,26	-0,34								
NH													0,17	0,22	0,13	-0,27	-0,19							
PE													0,30	0,48	0,74	0,47	0,25	-0,24						
LE													0,59	0,11	0,81	0,52	0,33	0,30	-0,28					
V													0,03	-0,02	0,04	0,04	0,03	0,11	0,02	0,11				
AE													0,10	0,25	0,15	0,12	0,20	0,22	0,03	-0,07	-0,10			
AP													0,88	0,14	0,19	0,12	0,16	0,11	0,24	0,02	-0,10	-0,08		
FF													-0,27	-0,13	-0,12	-0,2	-0,20	-0,08	-0,14	-0,12	-0,13	-0,05	0,19	
FM													0,31	-0,07	0,03	0,03	0,02	0,02	-0,01	-0,02	0,03	0,01	-0,04	0,05
	FF	AP	AE	V	LE	PE	NH	NG	PM	LG	AG	EG												

5.4. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Como lo indica la Figura 4, el PC1 explica el 27,14 % de la varianza total y el PC2 explica el 14,66%. Por lo tanto, ambos componentes estarían explicando casi el 42% de la varianza. El 52% de la varianza total, se explica por los tres primeros componentes, mientras que el 83% de la varianza total se explica por siete componentes.

Figura 4*Varianza explicada por Componente Principal*

Los componentes principales son nuevas variables que se construyen a partir de combinaciones lineales de las variables originales. Los valores de los coeficientes en cada componente principal muestran cómo contribuye cada variable original a esos componentes, capturando la mayor parte de la variabilidad de los datos.

En la Tabla 6, se muestran los valores de coeficiente de las variables para los primeros tres Componentes Principales (PC) y se señalan los valores de las cinco variables de mayor contribución para cada componente, con valores propios para cada Componente de: 3,528; 1,905 y 1,328; respectivamente. En el Anexo, Tabla A4, se encuentra la tabla con los valores de coeficiente de las variables para los trece Componentes Principales.

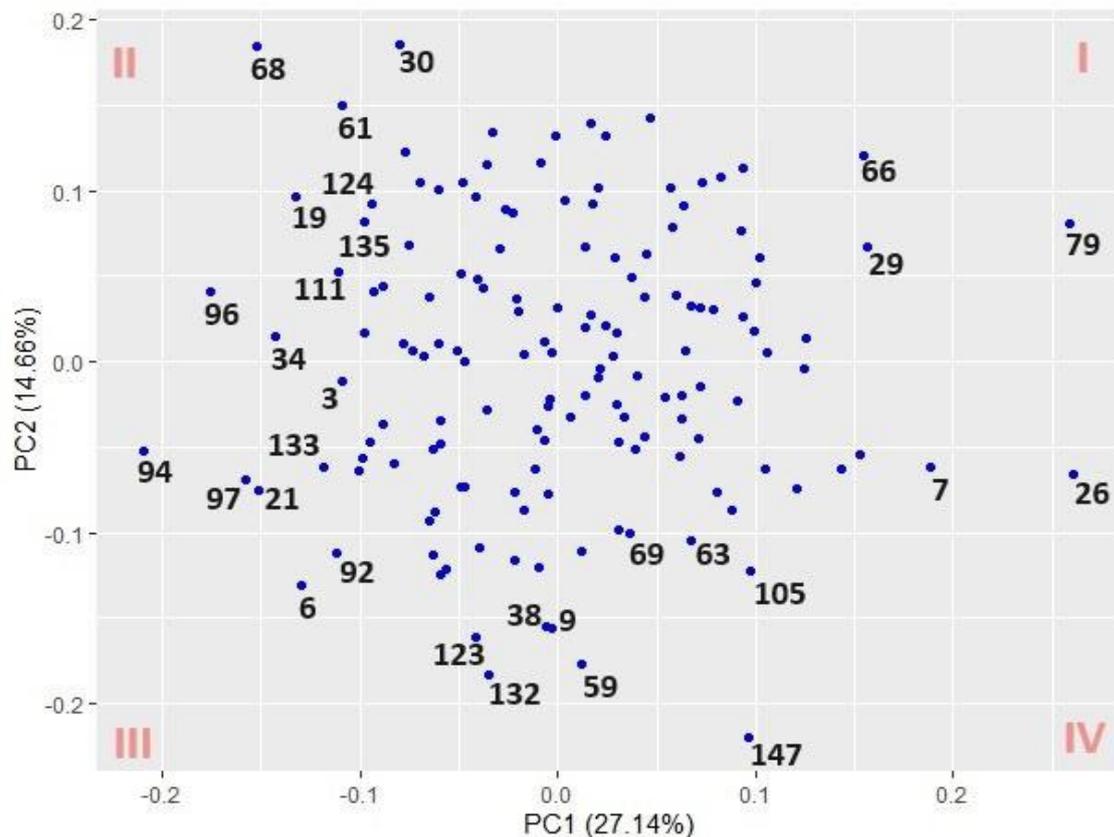
Tabla 6*Coefficientes de las variables para los tres primeros Componentes Principales*

Característica	PC1	PC2	PC3
FM	-0,027	0,063	0,495
FF	-0,190	0,153	0,460
AP	0,227	-0,591	-0,123
AE	0,237	-0,547	-0,052
V	0,048	-0,138	-0,215
LE	0,444	0,146	-0,010
PE	0,433	0,167	0,178
NH	0,175	-0,163	0,416
NG	0,391	0,154	-0,026
PM	0,368	-0,009	0,287
LG	0,265	0,240	-0,121
AG	0,156	0,379	-0,419
EG	-0,234	-0,057	-0,030
Valor propio	3,528	1,905	1,328
Varianza explicada	0,271	0,147	0,102
Varianza acumulada	0,271	0,418	0,520

Las cinco principales variables para cada PC se encuentran sombreadas en la Tabla 6. Esas variables en el PC1 son LE, PE, NG, PM y LG. Al PC2 son: AP, AE, AG, LG y PE; mientras que al PC3 son FM, FF, AG, NH, PM. La mayoría de las variables presentan signo positivo, a excepción de AP, AE y AG (esta última para el PC3). En la Figura 5, se presenta la distribución de las distintas FMH en el espacio del PC1 y PC2.

Figura 5

Distribución de las FMH en el espacio de los Componentes Principales 1 y 2

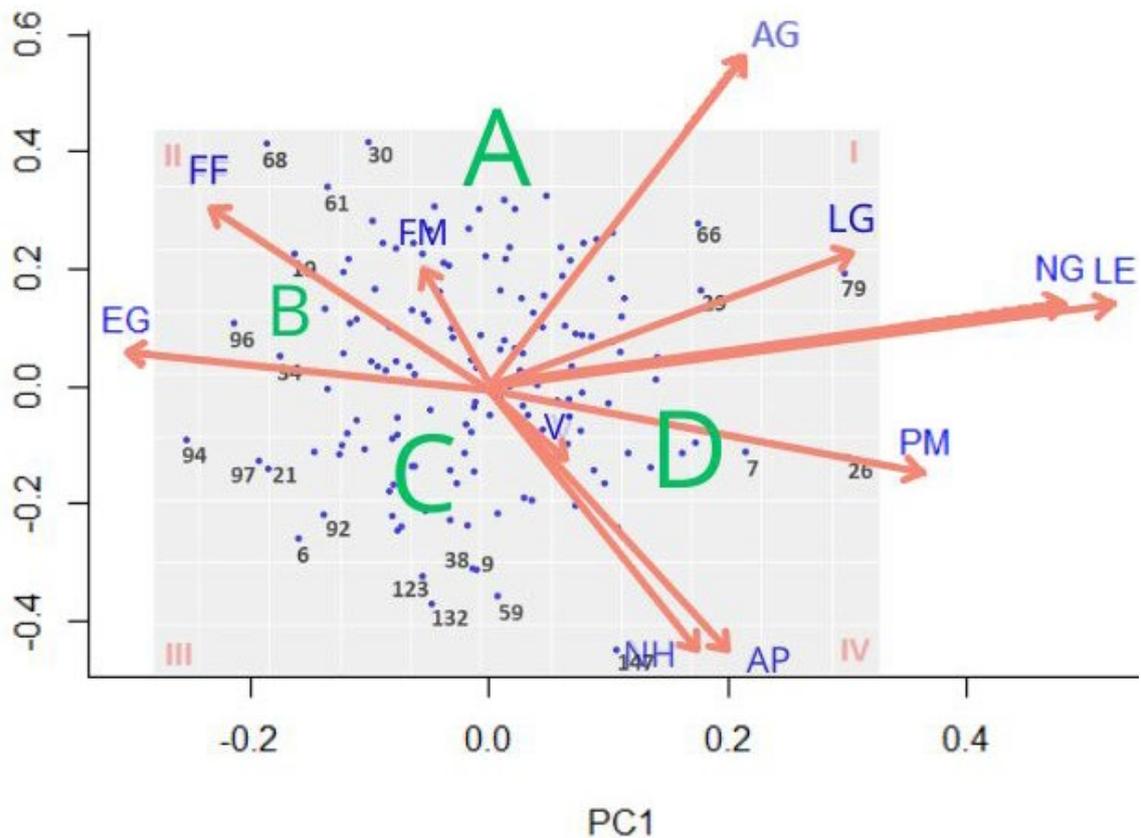


Las FMH que se destacan por presentar valores extremos son 66, 29 y 79 en el cuadrante I. A su vez, en el cuadrante II se identifican nueve puntos (indican que nueve FMH se alejan de la nube de puntos), correspondiendo a las FMH 68, 30, 61, 19, 124, 135, 111, 96 y 34; en el Cuadrante III las FMH que se alejan de la dispersión más central son: 3, 94, 133, 97, 21, 92, 6, 123, 132, 38 y 9. Finalmente, en el Cuadrante IV se identifican las FMH 7, 26, 69, 63, 105, 59 y 147 (Figura 5).

A modo de simplificar el estudio del PCA, se extrajeron las variables AE y PE de la Figura 4. A su vez, se pudieron identificar 4 grupos de FMH (A, B, C y D).

Figura 6

Distribución de las FMH en el espacio del PC1 y PC2 con vectores principales



En lo que respecta a los vectores se observa que AG, LG, NG, LE tienen valores altos tanto en el PC1 como en el PC2, como lo indican los valores coeficientes de la Tabla 6. Estas variables se encuentran correlacionadas positivamente en el espacio de los Componentes Principales. En el caso de los vectores NH, AE, AP y V se encuentran sobre valores negativos en el PC2 (siendo las dos primeras las de mayor valor absoluto para este Componente) y valores positivos, pero de menor magnitud en el PC1, encontrando estas variables correlacionadas, también positivamente en el espacio de los Componentes Principales.

Los vectores FM, FF y EG presentan valores negativos en el PC1, pero positivos en el PC2, lo que indicaría su correlación positiva en el espacio de los Componentes Principales. A su vez, el vector PM tiene valores cercanos a 0 en el PC2 (-0,009) y positivos en el PC1 (0,368), siendo una de las cinco principales variables para este Componente.

Hay vectores que al apuntar en direcciones opuestas señalan la existencia de correlaciones negativas. Como es el caso de los vectores EG, FF y FM respecto a los demás vectores. Aquellos vectores que forman un ángulo de aproximadamente 90°, indican que esas variables en el espacio de esos Componentes no están correlacionadas entre sí o que están poco correlacionadas, como AG con NH o AP. Los vectores que forman ángulos cercanos a 0° indican una alta correlación de las variables en el espacio de los Componentes, como

es el caso de NG y LE. Por lo tanto, se encuentran capturando aspectos similares o relacionados de la variabilidad de los datos. Esto sugiere lo mismo para las variables V, AP y NH.

Al observar la longitud de los vectores, se puede señalar que las variables NG, LE, PM y EG explican el PC1, donde las tres primeras están en las cinco principales variables que lo explican y presentan menor influencia en la definición del PC2. Sin embargo, las variables NH, AP, FF y AG contribuyen en mayor medida en la variabilidad total explicada por el PC2, hallándose AP y AG entre las principales cinco para el PC2.

Por otra parte, se observa que AG, LG, NG, LE, PM, NH, AP y V poseen valores positivos para el PC1 ya que apuntan en direcciones similares que este. Sin embargo, las variables EG, FF y FM poseen valores negativos para este Componente. A su vez las variables NH, AP y V poseen valores negativos para el PC2 (ver valores en Tabla 6).

A modo de facilitar la lectura del gráfico, considerando los bajos valores de coeficiente, que además se observa en el menor largo de los vectores de estas variables, podría pensarse en retirar a las variables FM y V.

En lo que respecta a las regiones que se formaron con relación a los vectores, la región A son FMH que tendrán AG mayores y mayor número de días a FF y FM, las FMH que escapan del grupo son aquellas que posean un mayor número de días a FF. Las FMH que pertenecen a la región B serán FMH que tendrán un mayor largo de ciclo a FF y un EG mayor. Las FMH de la región C, son FMH que tendrán un mayor EG y mayor NH, AP y V. Finalmente, aquellas FMH que se encuentran dentro de la región D serán aquellas familias que presenten mayor AG, LG, NG, LE, PM, AP, NH y a su vez V.

5.5. ESTIMACIÓN DE LA HEREDABILIDAD EN SENTIDO ESTRICTO Y LA GANANCIA GENÉTICA

Se estimó la heredabilidad en sentido estricto y la ganancia genética para aquellas características que en el ANOVA presentaron diferencias significativas, como lo muestra la Tabla 7. Las características FF y PM poseen heredabilidades medias, mientras que PE posee una baja heredabilidad.

Además, se observa que la ganancia genética será de aproximadamente 0,8 días en el ciclo hasta FM, de 0,2 y 0,1 cm en el PM y PE, respectivamente. Estos valores bajos en la ganancia genética podrían estar siendo explicados por los valores medios y bajo de las heredabilidades de dichas características.

Tabla 7

Heredabilidad y Ganancia Genética para floración femenina, perímetro de marlo y espiga

Característica	Heredabilidad en sentido Estricto	Ganancia Genética
FF	0,3571	0,8537
PM	0,4118	0,2466
PE	0,1724	0,1453

Basado en los resultados de este ensayo, se identificaron 15 FMH que presentan menores valores para FF, con el objetivo de mejorar la sincronidad con la FM bajo condiciones de estrés hídrico, al tiempo que conservan altos valores de PM. Esta selección busca obtener maíces con mayores valores para PM y PE, los cuales, debido a su correlación con LE y NG, podrían contribuir a una mejora en estas características. Las 15 FMH seleccionadas se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8*Selección de FMH según variables con datos estimados de heredabilidad*

Familia	Media FF	Media PE	Media PM
118	68,30 a	13,03 abc	8,23 abc
137	68,70 a	12,23 abc	7,97 abc
147	68,30 a	12,10 abc	7,90 abc
29	68,70 a	13,70 abc	7,90 abc
67	68,70 a	12,30 abc	7,73 a
149	68,70 a	11,30 abc	7,70 a
120	68,70 a	13,13 abc	7,63 a
35	68,70 a	11,50 abc	7,60 a
89	68,70 a	12,67 abc	7,60 a
41	68,70 a	11,80 abc	7,53 a
31	68,70 a	12,90 abc	7,50 a
83	68,70 a	12,70 abc	7,50 a
148	68,70 a	12,70 abc	7,33 a
102	68,70 a	11,80 abc	7,17 a
36	68,70 a	12,90 abc	7,10 a

6. DISCUSIÓN

La existencia de diferencias significativas entre FMH señala la existencia de variabilidad genética entre las familias originadas de la selección de la VPA Blanco Cangüé. Esto indica que la diversidad presente en el cultivar permite realizar selección en dichas características con el fin de obtener mejoras en las mismas en la siguiente generación.

Por otra parte, la baja variabilidad para algunas características puede explicarse por el material del cual se parte, es decir, esta 150 FMH provienen de seleccionar las mejores 150 espigas.

El método de obtención de semillas para emplearse en el ensayo consistió en la selección de las mejores 150 espigas en base a la característica tamaño de espiga (diámetro de espiga y número de granos por hilera).

Este método se conoce como selección de medios hermanos (SMH) y presentó poca efectividad para caracteres de baja heredabilidad (como puede ser el vuelco) y como ventaja una alta efectividad para caracteres de alta heredabilidad (días a floración), debido a que se basa en la selección del mejor fenotipo.

En la SMH la planta madre es conocida, mientras que el origen del polen se desconoce; siendo definidas las distintas FMH en base a las madres.

Según Montes-Hernández et al. (2014), como se cita en Ramírez Mandujano et al. (2018), puede existir poca variación fenotípica entre poblaciones que presuponen una base genética reducida y común. Es decir, dentro de las FMH existen algunas características que demuestran que hay poca variabilidad en la población original y esto podría explicarse por el hecho de que la población original es una VPA.

Además, la falta de diferencias significativas entre las FMH las cuales podrían haber presentado valores de varianza dentro de las FMH mayores que los valores de varianza entre las FMH. Estos valores específicamente, no se estimaron, pero en base a cálculos estimados y los valores que se obtuvieron, podría pensarse que esto podría ser así.

La variabilidad entre los grupos puede no ser significativamente mayor que la variabilidad dentro de los grupos o el error experimental podría explicar por qué algunas características evaluadas, no presentaron diferencias significativas entre las medias.

En la Tabla 9, se presenta una síntesis de los datos estimados por diferentes autores para distintas razas de maíces dentados y blancos de la región. Los datos que se presentan son los valores para los descriptores calculados para las FMH comparados con valores reportados para estos descriptores por Vilaró (2013) para la raza Diente Blanco y los Amarillos Dentados, por el *Catálogo de recursos genéticos* (1983) para la primera colecta de variedades criollas de maíz de diferentes razas que se realizó en Uruguay donde se colectaron accesiones de maíz perteneciente a la raza Blanco Dentado, por Brieger et al. (1958) para la primer colecta de maíces de Brasil y Uruguay en la cual participaron materiales de la raza Blanco Dentado de Uruguay, por INASE para la descripción varietal de la VPA Blanco Cangüé (R. Vidal comunicación personal, s.f) y por el INIA para la

primer Evaluación Nacional de Cultivares que participó la VPA Blanco Cangüé en 1996 (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA], 1997).

Para comparar las medidas estadísticas de las FMH con los valores obtenidos por Brieger et al. (1958) para la raza Dente Branco Riograndense, se utilizaron siete descriptores de los evaluados por dicho autor.

También se realizó la comparación de las FMH, con los datos reportados en el *Catálogo de recursos genéticos* (1983), elaborado en una colaboración entre el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Universidad de la República, donde participó la investigadora Grisel Fernández, se llevó a cabo una evaluación exhaustiva de las características de diferentes razas de maíz. En particular, para la raza Blanco Dentado, se emplearon trece descriptores como base para la comparación.

En el caso del trabajo de Vilaró (2013), para la comparación, se consideraron trece descriptores para las razas Dente Branco (DB), Dente Riograndense (DR) y Semidentado Riograndense (SDR).

Asimismo, se tomaron en cuenta para la comparación, los datos de descriptores evaluados para la VPA Blanco Cangüé en Risso en el año 1999 y 2003 y en el CRS en 2004. Formulario de Descripción Varietal de Maíz (*Zea Mays L.*) para el Blanco Cangüé según INASE (R. Vidal, comunicación personal, s.f.).

Finalmente, para la comparación, se utilizaron tres descriptores de los evaluados en el Programa Nacional de Evaluación de Cultivares, realizados en La Estanzuela en 1996 (INIA, 1997).

Tabla 9*Comparación de características medidas en FMH con valores literarios reportados*

Característica	FMH	Vilaró (2013)			Catálogo de recursos genéticos (1983)	Brieger et al. (1958)	INASE	INIA (1996)
		DB	DR	SDR				
FM	69 (67-73)	81,1	82,2	75,7	81,26	-	82 (75-85)	76
FF	71 (67-85)	88,1	89,7	80,1	88,16	-		-
AP	187,6 (130-243)	182,7	165,1	171,8	181,98	-	272 (\pm 40)	230
AE	117,9 (72-161)	125,6	113,4	107,5	125,15	-	-	160
AE/AP	0,6	0,7	0,7	0,6	0,7	-	-	0,7
NET	1	0,681	0,645	0,781	0,69	-	1,1	-
M	0	1,377	1,701	1,362	1,38	-	0 (en stress por sequía macolla)	-
V	22,67-12,0	73,7	68,4	75,6	26,37	-	-	-
LE	12,6 (6,9-19,8)	14,9	15,2	14,7	14,9 (14-20)	14,9-17,8	10-15 a 15-20	-
EG	4 (3-6)	7,45	6,13	6,03	6,4	3,7-7,5	-	-
LG	10 (8-12)	11,9	10,4	10,7	11,5	11,9-14,1	-	-
AG	9 (7-11)	10,5	9,2	9,3	10	9,9-10,5	-	-

Característica	FMH	Vilaró (2013)			Catálogo de recursos genéticos (1983)	Brieger et al. (1958)	INASE	INIA (1996)
		DB	DR	SDR				
PE	12,6 (7,9-18,2)	12,7	12,8	12,7	13,6 (11,0-17,3)	14,1	-	-
PM	7,8 (5,1-11,7)	-	-	-	-	9,4	-	-
NH	12 (10-16)	13,4	13,4	13,5	12,8	12-14	13 (10-16)	-

Nota. Elaborado con base en Brieger et al. (1958), INIA (1997), *Catálogo de recursos genéticos* (1983), R. Vidal (comunicación personal, s.f.) y Vilaró (2013).

6.1. CARACTERÍSTICAS QUE PRESENTARON DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS

6.1.1. Floración Femenina

La característica floración femenina presentó diferencias significativas entre FMH, observándose un desfase con los momentos de floración masculina. El desfase podría atribuirse al estrés hídrico durante el período de floración.

Según la descripción varietal de INASE para el Blanco Cangüé, esta VPA presenta un largo de ciclo de 82 días en promedio, con un rango que varía entre los 75 y 85 días, mientras que las FMH, presentaron en promedio 71,42 (68-78) días a floración masculina. Como el dato que presenta INASE es estimado en condiciones de disponibilidad hídrica, se acepta que el valor de floración masculina y femenina sean el mismo valor.

Sin embargo, en la Evaluación de Cultivares realizada por INIA en el año 1996 (INIA, 1997), el Blanco Cangüé (presentó para una fecha de siembra temprana) un largo de ciclo de 76 días. Esto podría indicar que una menor temperatura al comienzo del ciclo determinó un largo de ciclo mayor, mientras que el largo de ciclo menor que presentaron las FMH estuvo dado por las altas temperaturas al principio del ciclo por una fecha de siembra tardía.

A partir de un ensayo realizado en la Facultad de Agronomía por Munka et al. (2023), se determinó que los 82 días de largo de ciclo a floración, equivalen a un acumulado de 1429,4 °Cd. En base a los datos climáticos de la EEMAC, se realizó el mismo cálculo para las FMH. Éstas presentaron un acumulado de 1231,9 °Cd en promedio, con una variación entre 1175,9 °Cd y 1335,5 °Cd. Satorre et al. (2006) señalan que todos los cultivares y todos los períodos de desarrollo son sensibles a la temperatura. Esta respuesta universal es la responsable de la aceleración del desarrollo cuando las plantas son expuestas a temperaturas más elevadas, por lo que la duración de cualquier etapa de desarrollo transcurre más rápidamente, al menos dentro de umbrales de temperatura más o menos amplios en los cuales crecen la mayoría de los cultivos de granos en la Región Pampeana de Argentina. Las FMH fueron sembradas a finales de diciembre en la zona de Paysandú, lo que las expuso a temperaturas medias altas durante el crecimiento, mientras que el ensayo donde se estimó el largo de ciclo para el Blanco Cangüé, fue sembrado a inicios de noviembre en Montevideo (temperaturas medias menores por la época del año y por la ubicación geográfica). Esto podría explicar porque las FMH presentaron un largo de ciclo a floración menor que lo estimado para el Blanco Cangüé.

6.1.2. Perímetro de Espiga y Perímetro de Marlo

La característica Perímetro de Espiga para las FMH presentó una media (12,6) similar a la reportada por Vilaró (2013) de 12,7 y 12,8 y menor que 13,6 estimada en el *Catálogo de recursos genéticos* (1983). Además, el rango de distribución de esta variable fue mayor para las FMH que el reportado por *Catálogo de recursos genéticos* (1983). Por otra parte,

la media de las FMH fue menor a la que reportó Brieger et al. (1958), para la raza Dente Branco Riograndense.

Por otra parte, para la característica PM, el único valor de media estimado fue reportado por Brieger et al. (1958). Las FMH para dicha característica presentaron una media menor que la estimada por dichos autores.

6.1.3. Número de hileras por espiga

El número de hileras por espiga que presentaron las FMH, con una media que difiere de la media reportada por los autores (Brieger et al., 1958; *Catálogo de recursos genéticos*, 1983; Vilaró, 2013) e INASE (R. Vidal, comunicación personal, s.f.), el rango de variación de esta característica se encuentra dentro de los valores que han sido estimados por éstos, principalmente el rango (10 a 16 hileras por espiga) que reporta INASE (R. Vidal, comunicación personal, s.f.).

A partir del análisis estadístico de esta variable, se obtuvo la moda y las distintas categorías observadas para cada FMH (10, 12, 14 y 16). El número de categorías observadas es un indicador de gran relevancia, ya que aporta información sobre cuántas variantes pueden haber dentro de un mismo descriptor. Es un complemento a la información que brinda la moda, que, si bien demuestra el estado más repetido para una variable en una población, no puede representar la variabilidad de esta.

6.2. CARACTERÍSTICAS QUE NO PRESENTARON DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS

6.2.1. Floración Masculina

La floración femenina presentó diferencias significativas, mientras que la floración masculina no presentó. A su vez, se observan desfases en los momentos de la floración.

Los valores obtenidos para floración masculina (67 días), difieren de los valores reportados por otros autores, aproximándose los valores máximos, a lo reportado por Vilaró (2013) para la raza Semidentado Riograndense.

Al momento de las mediciones, la mayoría de las parcelas poseían plantas que ya estaban con la panoja expuesta, mientras que las estructuras femeninas (complejo estilos-estigmas) no se encontraban alargadas. El panojamiento comienza con la emergencia de la inflorescencia masculina a través del cogollo formado por las hojas superiores. En general, cuando se completa su emergencia se produce la antesis (aparición de las anteras de las flores de la panoja), y comienza la liberación de polen. Este proceso progresa hacia la base del eje principal y hacia las ramificaciones de la inflorescencia. La liberación del polen de una planta puede extenderse por unos días; en el cultivo, el desfase entre las plantas garantiza la producción de polen por varios días.

En tanto que no haya situaciones de estrés, la panoja posee un pico de producción de polen a los tres días de emergencia, lo cual coincide con el alargamiento de los estigmas. La sensibilidad de la floración en maíz se basa en que, ante situaciones de estrés,

fundamentalmente hídrico, la planta reacciona retrasando la floración, asimismo opera en forma contundente, en esta etapa, la dominancia apical. En la medida que los recursos son escasos, la planta internamente prioriza la dirección de la corriente de foto asimilados hacia la panoja masculina en detrimento de la espiga femenina, lo cual determina como consecuencia directa, un retraso mayor en la floración femenina. La asincronía en la floración masculina y femenina, por la existencia de situaciones de restricción hídrica o nutricional, baja irradiancia o alta densidad de plantas pueden postergar ligeramente la liberación de polen, pero provocan un importante retraso en la floración femenina, afectando el número final de granos por espiga (Satorre et al., 2006). Por lo tanto, la sincronización entre ambos momentos es una característica deseada al momento de la selección.

Bolaños y Edmeades (1990) determinaron que la presencia de estrés hídrico permite identificar más fácilmente las FMH capaces de sincronizar la floración masculina y femenina, ya que en buenas condiciones la variabilidad genética del intervalo de la floración se reduce considerablemente.

Tanto la liberación de polen como la receptividad de los estigmas se encuentran acotados; una mayor sincronía floral en el desarrollo de ambas inflorescencias aumentará la posibilidad de fecundación de la mayor parte de las espiguillas de la espiga en condiciones de campo. Los genotipos más modernos tienen tendencias a manifestar una mayor sincronía floral que los más antiguos (Satorre et al., 2006).

La población excesiva (8,3 plantas/m²), del ensayo determinó que también exista un retraso en la emergencia de los estigmas, pero en menor magnitud, pudiendo utilizarse esta medida de manejo como herramienta para la selección de genotipos superiores en su capacidad de sincronizar la floración masculina y femenina.

6.2.2. Altura de Planta

Para la característica altura de planta, en la descripción varietal registrada en INASE se indica que la altura de planta sería de 272 cm, con un rango de ± 40 cm, para la Evaluación de Cultivares la altura promedio fue 230 cm (INIA, 1997), mientras que Alessandri (2012), en un ensayo sembrado en el centro Regional Sur en Canelones obtuvo una altura de planta promedio de 279 cm.

Para la raza Dente Branco, Vilaró (2013), indica que la altura promedio para la raza sería 182,7 cm; mientras que en el *Catálogo de recursos genéticos* (1983) para la misma raza la altura promedio sería 181,98 cm. En promedio, las 150 FMH presentaron una altura de planta de 187 cm, presentando algunas FMH valores de 150 cm y 230 cm.

Al no haberse realizado un raleo de plantas, la población del ensayo fue alta lo que originó alturas de plantas importantes. Esto desencadenó una mayor competencia por la luz, resultando en mayor eficiencia en la intercepción de la radiación solar.

6.2.3. Altura de Espiga

La altura media de la espiga difiere con las medias obtenidas por otros autores. Sin embargo, se aproxima al valor reportado por Vilaró (2013) para la raza Dente Riograndense de 113,4 cm. Además, el valor superior del rango de variación coincide con la media reportada para esta característica por INIA (1997).

Esta característica, es procurada al momento de seleccionar materiales de mayor altura ya que permite una menor contaminación con material verde al momento de la cosecha, al poder permitir el empleo de una plataforma con mayor altura, aun así, presenta un componente negativo debido a que puede relacionarse con un mayor vuelco. Morand y Balbi (2020) indican que la altura de corte determinará situaciones diferentes de contenido de materia seca, determinando que será mayor en la medida que se coseche más alto (considerando que el agua se acumula en la base del tallo). Monge y Clemente (2014), como se cita en Morand y Balbi (2020), señalan que en la medida que se eleva la plataforma de cosecha, el volumen disminuirá, pero se optimizará la calidad nutricional y la pureza del material. Pasando de una altura de corte de 12,7 cm a 45,7 cm se genera una disminución del 5% en el rendimiento de materia seca por hectárea (MS. ha⁻¹), pero con importantes aumentos en la calidad. Aumentar la altura de corte de 20,3 cm a 61 cm mejora la composición química del silo de maíz de planta entera (%FDN, %FDA, %Lignina y %Almidón) pero no mejora la calidad del forraje ya que no aumenta ni la digestibilidad in situ, ni la in vivo de la MS (Morand & Balbi, 2020).

6.2.4. Relación Altura de Espiga/Altura de Planta

También, se estimó la relación altura de espiga/altura de planta ya que una mayor altura de planta significa un factor de riesgo para el vuelco.

Se realizó la estimación de la relación AE/AP con los datos de AE y AP que presentaron los autores para las diferentes razas con el objetivo de realizar una comparación con las FMH, ya que este cociente se relaciona con el vuelco.

Las FMH presentaron un valor de 0,6 para la relación AE/AP, un valor que se asemeja al estimado para Semidentado Riograndense (Vilaró, 2013). Sin embargo, los valores estimados para las demás razas e inclusive para el Blanco Cangüé son de 0,7 (Brieger et al., 1958; *Catálogo de recursos genéticos*, 1983; INIA, 1997; Vilaró, 2013). Esto podría significar una diferencia o no, para ello deberían realizarse análisis estadísticos. Más allá de esto, podría pensarse que esta relación es bastante estable para la raza o razas afines.

Además, la FMH presentaron un valor de 0,6; siendo deseados valores de 0,5 para esta relación en maíces para silo, como es el caso de la FMH ya que se relaciona con la altura de inserción de la espiga la cual está relacionada con la probabilidad de vuelco que presente la planta (R. Vidal, comunicación personal, s.f.).

La relación altura de espiga/altura de planta, presentaron interacción genotipos x localidades en los análisis de varianza para la caracterización de siete razas de maíz de los Valles Altos de México, determinando que no sean características deseables para la

clasificación, pues los atributos morfológicos que son menos afectados por el ambiente son más útiles para caracterizar a las poblaciones (Rocandio-Rodríguez et al., 2014).

6.2.5. Prolificidad

La prolificidad no presentó diferencias significativas entre FMH debido a que, en su mayoría, las plantas presentaron una espiga. Además, se observó que muchas plantas, poseían segunda espiga, pero ésta, abortó. La presencia de una espiga en promedio se asemeja a lo que indica la descripción varietal de la VPA Blanco Cangüé, donde señala que, para ésta, el promedio sería de 1,1. También, debe indicarse que las FMH presentaron una espiga en promedio por planta, mientras que para las razas comparadas los promedios están entre 0,645 para Dente Riograndense y 0,781 para Semidentado Riograndense.

Los bajos niveles de prolificidad, podrían explicarse por la presencia de estrés hídrico durante el período crítico de llenado de grano. Esto determinó que las plantas de maíz no lograran cubrir los requerimientos de Tasa de Crecimiento por Planta (TCP) para lograr prolificidad, es decir fijación de granos en la segunda espiga (1 g/pl/d) lo que llevó a que existiera abortos de espiga, o sea, se formó la espiga, pero no cuajaron los granos (Satorre et al., 2006).

Otra posible causa, quizás combinada con efecto del estrés hídrico, podría ser la elevada densidad de plantas, lo que generó un menor número de espigas por planta. Sangoi (2000), como se cita en Rotili y Maddonni (2016), reporta que el aumento de población, de 4,95 pl/m² a 8,25 pl/m², generó una disminución en el número de espigas por plantas; pasando de un total de 1,12 a 1,03 espigas por planta. El aumento en la densidad de plantas, por encima de un valor considerado óptimo, tiene consecuencias negativas en la formación de la espiga. Esta situación ocurre debido a un mayor nivel de competencia intraespecífica en la línea de siembra, generando una menor producción de fotoasimilados, llevando a que la planta estimula la dominancia apical de la inflorescencia masculina sobre la inflorescencia femenina (Satorre et al., 2006).

6.2.6. Largo de Espiga

El largo de espiga promedio para las FMH fue menor que el valor reportado por Vilaró (2013) para las razas Dente Branco, Dente riograndense y Semidentado Riograndense, mientras que se encuentra dentro del rango inferior descrito por INASE para el Blanco Cangüé. A su vez, el valor máximo de largo de espiga encontrado para las FMH se asemeja a los máximos valores reportados en el *Catálogo de recursos genéticos* (1983) para Blanco Dentado y los de INASE para la VPA Blanco Cangüé.

6.2.7. Número de Granos por Hilera

El número de granos por hilera en promedio fue de 25 con un mínimo de 10 y un máximo de 42. Silva et al. (2020) determinaron que, para las 72 variedades criollas caracterizadas en Uruguay, el mínimo de granos por hileras fue de 17 y el máximo de 42; siendo el color de endosperma predominante el blanco.

El número de granos fue una variable que no presentó diferencias significativas entre poblaciones de maíz con diferentes grados de pigmentación de la zona de Valles Altos Centrales de México, siendo la media del ensayo 24,0 y para el grupo blanco 24,1 (Espinosa-Trujillo et al., 2006).

El número de granos se determina en un período de aproximadamente 30 días centrado en la floración, definiendo a esta etapa como período crítico. La incidencia de un estrés hídrico provoca mayores pérdidas en el número de granos cuando se da en este período, que coincide con el crecimiento activo de la espiga, la emergencia de estigmas y el inicio del llenado del grano. La mayor parte de las flores diferenciadas en las dos espigas superiores de la planta de maíz (una flor fértil por espiguilla) alcanza un desarrollo floral completo y todas en la espiga apical logran exponer su estigma y ser polinizadas. En consecuencia, la fuente de variación más importante en el número de granos por planta de maíz está constituida por el aborto de flores secundarias (Satorre et al., 2006).

El número de granos por hileras depende del largo de la espiga, la cual no presentó diferencias significativas entre FMH y que además está determinada por el ambiente, el cual presenta deficiencias hídricas y limita la partición de asimilados hacia la espiga, determinado que la misma sea de menor tamaño.

En este ensayo, no se logró transformar la biomasa en mazorca y como indica (Satorre et al., 2006) la biomasa total producida por el cultivo está altamente correlacionada con el tamaño final de la mazorca y en promedio se estima que ésta ocupa el 40% del peso total. La disponibilidad de asimilados por flor fértil no es el único factor limitante para la fijación de granos en maíz. La dinámica de emisión de estigmas, que afecta finalmente a la dinámica de polinización y fecundación, explica en parte las diferencias en número de granos por espiga (Satorre et al., 2006). Si bien, se obtuvieron en promedio alturas de planta elevadas, cómo existió estrés hídrico esto determinó aborto de la segunda espiga. Se había producido biomasa para el llenado de granos, pero no se pudo dirigir de manera óptima para formar espigas grandes, limitando así el tamaño de estas y por ende el número de granos.

6.2.8. Macollaje y Fertilidad de Macollos

Estas características no se expresaron en el ensayo, difiriendo de lo reportado por otros autores donde indican que los distintos complejos raciales presentan macollaje (*Catálogo de recursos genéticos*, 1983; Vilaró, 2013). Aun así, era esperable que no se expresara esta característica ya que está influenciada por condiciones ambientales y por el manejo que se realice. Además, podría pensarse que las 150 FMH no presenten macollaje, porque las plantas que originaron las FMH poseían muy buenas espigas, las cuales podrían ser el resultado de poco o nulo macollaje

Además, el registro de INASE indica que la VPA Blanco Cangüé presenta en condiciones de estrés por sequía macollaje. Podría pensarse que el estrés sufrido en el ensayo no fue de tal magnitud para que se expresara dicha característica. Si bien, hubo nueve FMH que presentaron plantas con macollo, estos significaron el 1% de la parcela, lo que determinó

que no existieran diferencias significativas entre FMH para esta característica. Las plantas que tuvieron macollaje, presentaron un macollo de pequeño tamaño, el cual fue infértil.

Ramos et al. (2013) determinaron que la VPA Blanco Cangue, debido a su origen y al tipo de material presentó bajo macollaje, cuando fue evaluado en tres sitios distintos y sometido a tres alturas de corte distintas.

Meraz-Fonseca et al. (2015) evaluaron 26 líneas endocriadas en invernáculo, las cuales tuvieron un 51% de macollaje en promedio, con porcentajes de expresión entre el 61% y 34,5%. Esto indica que existen diferencias en la forma en la cual se incorpora este rasgo, que está directamente relacionado con la población de origen y que las condiciones de control del ambiente en el invernáculo promueven la expresión de dicha característica.

Pérez (2004), como se cita en Meraz-Fonseca et al. (2015), obtuvo valores significativamente menores a los reportados en evaluación de versiones anteriores de estas líneas, donde encontró un porcentaje inferior al 2% del total de semillas evaluadas con dos o más embriones.

El aumento en el porcentaje de macollos que lograron los autores evidencia el efecto positivo de los métodos de mejoramiento genético utilizados para incrementar el macollaje mediante la autofecundación y la selección a lo largo de generaciones.

A su vez, los resultados que obtuvieron coinciden con los reportados por Espinosa-Trujillo et al. (2006), que lograron aumentar la frecuencia de "plantas gemelas" de 1,5% en la población original a 47% en el sexto ciclo de selección mediante selección recurrente. Señalan que es posible aumentar la frecuencia de semillas con dos embriones, mediante la selección continua de híbridos y otros materiales.

Meraz-Fonseca et al. (2015) identificaron siete fenotipos distintos de expresión de macollos. Las diferentes expresiones fenotípicas encontradas, al parecer provienen de un único embrión que se origina a partir de la fusión de gametos, sugiriendo que en estos materiales genéticos ocurren cambios en diferentes etapas del desarrollo del embrión, que resultan en las distintas expresiones fenotípicas de los macollos. Los siete fenotipos encontrados presentan en común dos ejes independientes y un único sistema radicular. El fenotipo denominado Tipo VI, es descrito por los autores como: una planta que tiene tallos gemelos independientes, con dos coleoptiles, dos mesocótilos y dos plúmulas, pero que comparten la misma radícula. Los autores sugieren que la diferenciación de los ejes independientes haya ocurrido en una etapa muy temprana del desarrollo embrionario.

Este tipo fenotípico, se identificó en el 0,4% de las 26 líneas (Meraz-Fonseca et al., 2015), mientras que en el ensayo corresponde al 1% de las plántulas de nueve FMH (6% en un total de 150 FMH evaluadas).

Doebley et al. (1995), indican que el maíz y el teosinte tienen diferencias notables en su arquitectura. El maíz, a diferencia del teosinte, presenta ramas laterales cortas rematadas por mazorcas en algunos nudos superiores y tiene pocos o ningún macollo en los nudos basales. Esta diferencia se debe en parte al alelo dominante *Tb1* del maíz, que influye en la arquitectura de la planta.

El macollaje posee un fuerte efecto genético, asociado a la influencia de genes como *Tb1* y *Gt1*, que es afectado por la densidad de siembra. Estos genes, presentes en el teosinte, están involucrados en la elongación de yemas axilares como respuesta a la calidad de la luz (Rotili & Maddonni, 2016).

En base a los datos obtenidos en el ensayo, los cuales no generan diferencias significativas entre FMH, pero indican la presencia de macollaje y en base a lo que plantean Meraz-Fonseca et al. (2015), podría sugerirse la existencia de mecanismos epigenéticos presentes, ya que una de las características de los epimutantes es que son reversibles; es decir, pueden volver al fenotipo original (planta con morfología de un solo tallo).

El macollaje fue una característica procurada en materiales antiguos para lograr un aumento en el rendimiento del maíz. Sin embargo, el reducido nivel de macollaje observado en las FMH podría deberse a la selección cuidadosa realizada por los agricultores/as sobre los materiales originales, orientada a minimizar la expresión de este rasgo.

Esto sugiere que la secuencia de ADN que controla el rasgo no cambió y que, por lo tanto, el macollaje parece ser un modelo adecuado para futuros estudios de estos mecanismos ya que la formación de macollos puede ser una respuesta a factores ambientales o a la modulación epigenética que afecta la expresión génica sin alterar la secuencia de ADN.

6.2.9. Vuelco y Quebrado

El vuelco y el quebrado de plantas son características no deseadas en los materiales que se siembran. El vuelco en el ensayo fue determinado en base a una escala visual que determinaba cuatro categorías. De modo de poder comparar los datos obtenidos con los de los autores ya que Vilaró (2013) estima el vuelco como plantas que volcaron desde la raíz y en el *Catálogo de recursos genéticos* (1983) se estima como vuelco cuando la planta volcó más de 30°, se utilizaron dos formas diferentes de estimar el porcentaje de vuelco.

Los datos obtenidos son 22,67% de vuelco, cuando se agrupan todas las FMH que presentaron valores de vuelco de 1, 2 y 3 y de 12,0% cuando se agrupan FMH que presentaron vuelcos 2 y 3. Estos valores indican que el vuelco fue bajo en el ensayo y son similares a los que se reportó en el *Catálogo de recursos genéticos* (1983) con plantas que volcaron con más de 30°.

En un ensayo sembrado en el Centro Regional Sur donde se utilizaron diferentes densidades de siembra y fechas de siembra; se obtuvo una elevada altura promedio de plantas de maíz Blanco Cangüé y un alto porcentaje de vuelco (20,6%), incluso a tan bajas densidades (Alesandri, 2012). Podría pensarse que la expresión del vuelco en el ensayo fue baja ya que el ambiente en donde se desarrolló el ensayo no fue el apto para la expresión de esta.

Otra posible causa de los bajos niveles de vuelco podría ser la selección que se realizó en la población original. Esto determinó que la selección se hubiese hecho a favor de la no expresión de mencionada característica (luego de muchas generaciones de selección, ya que se trata de una característica de baja heredabilidad).

Los altos valores de coeficiente de variación para las características vuelco y quebrado: 87,3% y 59,3%, respectivamente; señalan alta variabilidad dentro de las FMH. Esto podría explicar la no existencia de diferencias significativas que se observaron para estos descriptores.

6.2.10. Ancho, Largo y Espesor de Grano

La media obtenida para el descriptor ancho de grano, indica que las FMH presentan valores similares a los reportados por Vilaró (2013), para la raza Dente Riograndense y Semidentado Riograndense. A su vez, el valor superior del rango de variabilidad de esta característica se aproxima a los valores que Vilaró (2013) reportó para la raza Dente Branco, los reportados en el Catálogo *de recursos genéticos* (1983) para Blanco dentado y por Brieger et al. (1958) para Dente Branco Riograndense. Vilaró (2013), reportó que para la raza Semidentado Riograndense, los valores de días a floración masculina serían de 75,7. Esto indicaría que el largo de ciclo es una característica en las FMH que se asemeja más a los valores de la raza Semidentado Riograndense que a los valores de la Raza Blanco Dentado y por ende influiría en las características del grano, como el AG.

El largo de grano presentó un valor promedio de 10, semejante a los valores de Dente Riograndense (10,4) y Semidentado Riograndense (10,7), reportados por Vilaró (2013).

Brieger et al. (1958) determinaron para la característica espesor de grano un rango de variación de 3,7 a 7,5. Estos valores se asemejan con los de las FMH, donde la media para la característica fue 4 pero el rango se encontró entre 3 y 6.

6.3. CORRELACIONES ENTRE VARIABLES

La mayoría de las correlaciones presentaron muy bajos coeficientes de correlación significativos ($p < 0,05$), mientras que siete de ellas presentaron niveles de correlación moderados a altos significativos a muy significativos ($p < 0,05$): AP-AE presentaron 0,88 de correlación, la correlación LE-NG fue de 0,81, para PE-PM fue de 0,74, LE-PE presentaron 0,59, para LE-PM fue de 0,52, mientras que PE-NG presentaron 0,48 de correlación y PE-LG tuvieron 0,47 de correlación. La característica PE se destaca como el descriptor que correlacionó más con los demás descriptores. Luego le sigue LE.

De las siete correlaciones que presentaron valores de significancia para las FMH, De María et al. (1979) evaluaron dos de ellas para el conjunto de las razas. Las características que tuvieron evaluadas sus correlaciones fueron AP-AE y LE-PE. La única que presentó significancia en la evaluación realizada por los autores fue la correlación entre AP-AE (Tabla 10).

Tabla 10

Comparación de correlaciones en FMH con las de la raza Blanco Dentado

Variables correlacionadas	Coefficiente de Correlación	De María et al. (1979)
AP-AE	0,88	Significativo
LE-NG	0,81	No evaluado
PE-PM	0,74	No evaluado
LE-PE	0,59	No significativo
LE-PM	0,52	No evaluado
PE-NG	0,48	No evaluado
PE-LG	0,47	No evaluado

Nota. Elaborado con base en De María et al. (1979).

A su vez, en el trabajo de De María et al. (1979) se realizó una separación de grupos en conglomerados que permite agrupar elementos tales que las diferencias entre los elementos que forman los conglomerados sean mínimas y las diferencias entre conglomerados sea máxima. Los caracteres usados en el cluster fueron aquellos utilizados en las correlaciones fenotípicas y que a la vez fueron los menos afectados por el ambiente (vuelco, rendimiento en grano y rendimiento forrajero). En las FMH la característica que se midió fue el vuelco, la cual también fue evaluada en la matriz de correlaciones.

Según, De María et al. (1979) el vuelco se correlaciona de forma positiva y significativa con diámetro de espiga. Sin embargo, esto difiere con la correlación PE-V evaluada para las FMH, la cual no presenta un valor de -0,02 (prácticamente nula), significativa y con tendencia a ser negativa. El hecho de que la correlación PE-V no presente significancia para las FMH podría estar atribuido a que en el ensayo el vuelco tuvo niveles de 12% y/o 22,7% (según como se considere las categorías 1, 2 y 3 del vuelco).

Aunque en el ensayo de De María et al. (1979) el vuelco fue de 26,4%, podría pensarse que hubo algún efecto debido a la diferencia observada (12% y/o 22,7% frente a 26,4%). Esta diferencia debería evaluarse estadísticamente para determinar la existencia de diferencias significativas.

6.4. ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Según Medina Scaglia (2001), el coseno del ángulo entre dos vectores representa el coeficiente de correlación entre los mismos. Por lo tanto, aquellos vectores que apuntan en la misma dirección se encuentran correlacionados positivamente, aquellos que

presentan ángulo recto indican correlación cero y los que apuntan en dirección opuesta tienen correlación negativa (Cabrera-Toledo et al., 2019). El comportamiento que presente una FMH estará determinado por la magnitud de la proyección ortogonal de la misma.

El 52% de la varianza total, se explica por los tres primeros Componentes Principales, mientras que el 83% de la misma se alcanza con siete Componentes (ver Anexo Tabla A4).

De Lima et al. (2020) señalan que los primeros Componentes Principales tienen sentido su uso cuando envuelven al menos el 80% de la varianza total, sin embargo, en el estudio que realizaron para un total de 171 accesiones de maíz criollo, obtuvieron que los dos primeros componentes explican solamente el 43,77% de la varianza total y lograron explicar el 79,68% de la misma con los primeros siete componentes.

Ku-Pech et al. (2023) lograron explicar el 68% de la varianza acumulada con los primeros dos Componentes (46 y 22%, respectivamente) y el 82% de la misma con los primeros tres, mientras que Linares-Holguín et al. (2019) con los primeros tres componentes explicaron el 64% de la varianza (31, 22 y 11%, respectivamente).

Sin embargo, debe considerarse que los ACP son estudios exploratorios y que el % de la varianza indica el peso de las variables, por lo tanto, dependerá del germoplasma que se utilice y las variables que se empleen para la estimación de los ACP.

A su vez, las cinco variables que capturan la mayor parte de la variabilidad en muestreos datos son LE, PE, NG, PM y LG para el PC1, para el PC2 son AP, AE, AG, LG y PE y finalmente FM, FF, AG, NH y PM para el PC3. Algunas de estas características se han identificado como las más destacadas en diversos estudios y trabajos (Tabla 11).

Tabla 11*Comparación de las cinco variables clave en los Componentes Principales 1, 2 y 3*

PC1			PC2			PC3		
FMH	Linares-Holguín et al. (2019)	Ku-Pech et al. (2023)	FMH	Linares-Holguín et al. (2019)	Ku-Pech et al. (2023)	FMH	Linares-Holguín et al. (2019)	Ku-Pech et al. (2023)
LE (0,444)	NHP (0,306)	PSM (0,39)	AP (-0,591)	AG/LG (0,347)	NH (0,52)	FM (0,495)	FF (-0,462)	AG (0,48)
PE (0,433)	DM (0,301)	PG (0,38)	AE (-0,547)	EG (0,312)	DE (0,43)	FF (0,460)	FM (-0,388)	NTG (-0,45)
NG (0,391)	DE (0,278)	PEL (0,33)	AG (0,379)	LE (0,307)	NG (-0,35)	AG (-0,419)	AG (0,291)	P100G (0,39)
PM (0,368)	LG (0,266)	P100G (0,29)	LG (0,240)	AG (0,301)	EG (0,33)	NH (0,416)	P100G (0,269)	NG (-0,31)
LG (0,265)	AE/AP (0,249)	NTG (0,29)	PE (0,167)	NH (-0,292)	AG (-0,29)	PM (0,287)	LRCE (-0,253)	EG (0,30)

Nota. Elaborado con base en Ku-Pech et al. (2023) y Linares-Holguín et al. (2019).

Linares-Holguín et al. (2019) indican que los cinco caracteres que capturan la mayor parte de la variabilidad para el PC1 son número de hojas por planta (NHP), diámetro del marlo (DM), diámetro de la espiga (DE), LG y la relación altura de la mazorca/altura de planta (AE/AP). Para el PC2, fue la relación anchura/longitud de 10 granos (AG/LG), espesor de 10 granos (EG), longitud de espiga (LE) y número de hileras de la mazorca (NH) que presenta una relación negativa con el Componente. Finalmente determinaron que, para el PC3, estas variables fueron floración femenina (FF) y masculina (FM); ambas con un efecto negativo sobre este componente, anchura de grano (AG), peso de 100 granos (P100G) y la longitud de la rama central de la espiga (LRCE) también con una relación negativa con el Componente.

Ku-Pech et al. (2023), en su trabajo indicaron como las cinco variables principales para el PC1 el peso seco de mazorca (PSM), peso de granos de una mazorca (PG), peso de elote (PEL), también P100G y número total de granos (NTG). Para el PC2 señalaron también a NH, PE, NG, EG y AG (las variables NG y AG presentaron una relación negativa con el Componente). El PC3 presentó las variables AG, NTG, P100G, NG y EG como las cinco principales. Las variables NG y NTG presentaron relación negativa con este Componente.

Por otra parte, De Lima et al. (2020), determinaron que las principales características que contribuyen para la divergencia genética son altura de plantas, vuelco, quebrado, número de granos por hilera y el peso de 1000 granos.

Los altos valores que presentan algunas variables pueden ser el resultado de la alta varianza que presentan los datos, la cual se amplifica en el espacio de los Componentes Principales.

6.5. ESTIMACIÓN DE LA HEREDABILIDAD EN SENTIDO ESTRICTO Y LA GANANCIA GENÉTICA

Según Granada et al. (2023), los valores de heredabilidad se pueden clasificar como bajos cuando son menores a 0,30; medios entre 0,30 y 0,60 y altos cuando son mayores a 0,60. A su vez los valores por encima de 0,40 son los que mostrarían patrones naturales de variación.

El valor calculado de heredabilidad para la característica FF, fue un valor medio en comparación al valor reportado por Oyervides et al. (1993) para la heredabilidad en sentido amplio, para un conjunto de 224 familias de hermanos completos, el cual fue de 0,70. Hallauer y Miranda (1981), como se cita en Oyervides et al. (1993), obtuvieron para dicha característica un valor de 0,579 para heredabilidad en sentido estricto señalando que los valores encontrados por estos autores, son significativamente mayores debido en gran medida a que la heredabilidad está sobreestimada al determinarla en sentido amplio.

Recientemente, Melendres-Martínez et al. (2018), estimaron para un total de 182 líneas S1 Self un valor de 0,48 para la heredabilidad para dicha característica. En este tipo de materiales es esperable una varianza menor adentro y mayor entre poblaciones mejorando el valor estimado heredabilidad.

A su vez, los valores estimados para PM y PE son valores de heredabilidad medio y bajo, respectivamente. En este sentido, Granada et al. (2023), estimaron para 92 accesiones de variedades criollas de maíz, valores de heredabilidad de 0,79 para la característica diámetro de mazorca y de 0,62 para la característica diámetro de marlo para un germoplasma con mayor variabilidad genética.

Los valores de heredabilidad para la característica FF se encuentran en valores medios, mientras que los valores estimados para PM y PE son valores menores a los estimados por otros autores. En el caso de las FMH, los valores de heredabilidad menores podrían atribuirse a una alta variabilidad dentro de las familias, así como a un importante error experimental posiblemente porque los bloques en algunos casos presentaron zonas donde se irrigó. Esto podría deberse a limitaciones durante el cálculo de los valores, influenciadas por las condiciones de medición que afectaron la estimación de los datos (irrigación en algunas zonas por lo que los bloques no lograban capturar la variabilidad del terreno, falta de bordes y no se realizó raleo para disminuir la población). La falta de datos por planta, por ejemplo, para la característica FF, durante el cálculo de la varianza residual pudo haber reducido la precisión de la variabilidad, aumentando así la incertidumbre en los resultados. Además, es importante considerar que los valores estimados se basan únicamente en datos recabados durante un año y que el ensayo se desarrolló en condiciones de estrés hídrico, lo cual pudo haber afectado la floración y en consecuencia a aquellas características ligadas a la misma, como lo son PM y PE.

La ganancia genética que se espera para estas características en un ciclo de selección sería baja o media, ya que son características que presentan valores medios y bajos de heredabilidad.

7. CONCLUSIONES

La variabilidad genética observada entre las FMH sugiere una base sólida para futuras estrategias de selección.

Se identificaron las 15 FMH con los valores más bajos de FF y altos valores de PM, con el objetivo de mejorar la sincronidad, disminuir el largo de ciclo y mejorar el rendimiento.

Se evidenciaron diferencias significativas y, como resultado, se identificaron FMH con menores FF, sin que se observaran diferencias significativas en V, M y AE, de acuerdo con los objetivos específicos de este estudio. En lo que respecta al V, podría pensarse que esta característica puede que no se haya esperado por la menor relación AE/AP.

Las correlaciones significativas sugieren que PE y LE tienden a relacionarse más con otras variables, especialmente con NG, lo que podría indicar que estas características podrían tener un papel importante en la mejora del rendimiento general en el cultivo.

Por otra parte, planteo las siguientes consideraciones finales para este Trabajo Final de Grado que podrían ser tenidas en cuenta para futuros trabajos en esta línea de investigación:

- No se pudo medir productividad de Materia Seca, la cual es una característica de gran importancia para maíces para silo.
- Se podría haber considerado la evaluación de la sincronidad entre FF y FM, dado que esta característica es importante para el rendimiento en grano, en condiciones de estrés.
- Si se hubiera calculado la variabilidad dentro de las FMH, se podría haber determinado si ésta fue mayor que entre las FMH.
- Algunas diferencias entre las FMH en condiciones favorables podrían haber sido significativas.
- La estrategia de combinar diferentes métodos de selección, podría ser una opción.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alesandri, G. (2012). *El maíz blanco Cangüé para la alimentación animal* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/9671>
- Andorf, C., Beavis, W. D., Hufford, M., Smith, S., Suza, P. W., Wang, K., Woodhouse, M., Yu, J., & Lübbersted, T. (2019). Technological advances in maize breeding: Past, present and future. *Theoretical and Applied Genetics*, 132, 817-849.
<https://doi.org/10.1007/s00122-019-03306-3>
- Andrade, F. H., Cirilo, A., Uhart, S., & Otegui, M. (1996). *Ecofisiología del Cultivo de Maíz*. La Barrosa.
- Araghi, B., Barati, M., Majidi, M. M., & Mirlohi, A. (2014). Application of half-sib mating for genetic analysis of forage yield and related traits in *Bromus inermis*. *Euphytica*, 196, 25-34. <https://doi.org/10.1007/s10681-013-1011-2>
- Bolaños, J., & Edmeades, G. O. (1990). La importancia del intervalo de la floración y el índice en el mejoramiento para la resistencia a sequía en maíz tropical. *Agronomía Mesoamericana*, 1(1), 45-50.
<https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/5529971.pdf>
- Brieger, F. G., Gurgel, J. T. A., Paterniani, E., Blumenchein, A., & Alleoni, M. R. (1958). *Races of maize in Brazil and other eastern South America Countries*. National Academic of Sciences; National Research Council.
- Cabrera-Toledo, J. M., Carballo-Carballo, A., Mejía-Contreras, J. A., García-De los Santos, G., & Vaquera-Huerta, H. (2019). Caracterización de poblaciones sobresalientes de maíz de la raza Zapalote Chico. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(3), 269-279.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802019000300269&lng=es&tlng=es
- Castaño, J., Giménez, A., Ceroni, M., Furest, J., Aunchayna, R., & Bidegain, M. (2011). *Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009*. INIA.
- Catálogo de recursos genéticos de maíz de Sudamérica*. (1983). INTA; Universidad de la República.

- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo & International Board for Plant Genetic Resources. (1991). *Descriptores para maíz*.
<https://www.genebanks.org/resources/publications/descriptors-for-maize/>
- De Lima, B. C., Dudek, G., Chaves, M. H. M., Martins, A. G., Missio, V. C., & Missio, R. F. (2020). Diversidade genética em acessos de milho crioulo / Genetic diversity in landrace maize. *Brazilian Journal of Development*, 6(10), 82712-82726. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-631>
- De María, F., Fernández, G., & Zoppolo, G. (1979). *Caracterización agronómica y clasificación racial de las muestras de maíz colectadas en Uruguay bajo el Proyecto IBPGR y Facultad de Agronomía* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/24539>
- Digital Press Briefing with U.S. Special Envoy for Global Food Security Dr. Cary Fowler, and USAID Global Food Crisis Coordinator Dina Esposito. (2023, 19 de enero). U.S. Department of State. <https://www.state.gov/digital-press-briefing-with-u-s-special-envoy-for-global-food-security-dr-cary-fowler-and-usaid-global-food-crisis-coordinator-dina-esposito/>
- Doebley, J., Stec, A., & Gustus, C. (1995). Teosinte branched1 and the origin of maize: Evidence for epistasis and the evolution of dominance. *Genetics*, 141(1), 333-346. <https://doi.org/10.1093/genetics/141.1.333>
- Erenstein, O., Jaleta, M., Sonder, K., Mottaleb, K., & Prassana, B. M. (2022). Global maize production, consumption and trade: Trends and R&D implications. *Food Security*, 14, 1295-1319. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>
- Espinosa-Trujillo, E., Mendoza-Castillo, M. del C., & Castillo-González, F. (2006). Diversidad fenotípica entre poblaciones de maíz con diferentes grados de pigmentación. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(2), 19-23.
<https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/1082/1017>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s.f.). *FAOSTAT*.
<https://www.fao.org/faostat/en/#data>

- Giménez, L. (2017). *Deficiencias hídricas en distintas etapas fenológicas de maíz y soja y evaluación del modelo Aquacrop* [Disertación doctoral, Universidad de la República]. Colibri.
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/29819>
- González Castro, M. E., Palacios Rojas, N., Espinoza Banda, A., & Bedoya Salazar, C. A. (2013). Diversidad genética en maíces nativos mexicanos tropicales. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 36(s3), 329-338.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802013000500009&lng=es&tlng=
- Google. (2023). [Ubicación del ensayo, EEMAC, Paysandú, Uruguay. Mapa]. Recuperado el 2 de marzo de 2023, de
https://earth.google.com/web/search/EEMAC,+Paysand%C3%BA+Departamento+de+Paysand%C3%BA/@-32.37994279,-58.06126835,46.22304315a,2382.48736874d,35y,0h,0t,0r/data=CiwiJgokCYEXCowX2T_AEbBxOUD_2j_AGVdc7aCFQUvAIabf0HpcQ0vAQgIIAToDCgEw
- Granada, L. F., Rodríguez, G. G., Mayor, Z. M. F., & Fernández, E. B. (2023). Estimación de la heredabilidad y asociación entre caracteres agromorfológicos en el cultivo del maíz (*Zea mays*: *Poaceae*). *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 44, 169-179. <https://revistas.uh.cu/rjbn/article/download/8321/7105>
- Gutiérrez Chacón, L. (2001). *Comparación de la clasificación racial con una clasificación numérica en la colección de maíz del Uruguay* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/25789>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (1997). *Informe presentado a la Comisión Asesora de Certificación de Semillas: Sector Cereales de Verano: Maíz 1997*.
- Kennett, D. J., Prufer, K. M., Culleton, B. J., George, R. J., Robinson, M., Trask, W. R., Buckley, G. M., Moes, E., Kate, E. J., Harper, T. K., O'Donnell, L., Ray, E. E., Hill, E. C., Alsgaard, A., Merriman, C., Meredith, C., Edgar, H. J. H., Awe, J. J., & Gutierrez, S. M. (2020). Early isotopic evidence for maize as a staple grain in the Americas. *Science Advances*, 6(23), Artículo eaba3245.
<https://doi.org/10.1126/sciadv.aba3245>

- Ku-Pech, E. M., Mijangos-Cortés, J. O., Islas-Flores, I., Sauri-Duch, E., Latournerie-Moreno, L., Rodríguez-Llanes, Y., & Simá-Gomez, J. L. (2023). Diversidad del maíz en tres zonas geomorfológicas de Yucatán, México/ Maize Diversity in three geomorphological regions of Yucatan, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(3), Artículo e078. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.4853>
- Kurtz, B., Gardner, C. A. C., Millard, M. J., Nickson, T., & Smith, S. C. (2016). Global access to maize germplasm provided by the US National Plant Germplasm system and by US Plant Breeders. *Crop Science*, 56(3), 931-941. <https://doi.org/10.2135/cropsci2015.07.0439>
- Kutka, F. (2011). Open-Pollinated vs. Hybrid Maize Cultivars. *Sustainability*, 3(9), 1531-1554. <https://doi.org/10.3390/su3091531>
- Linares-Holguín, O. O., Rocandio-Rodríguez, M., Santacruz-Varela, A., López-Valenzuela, J. Á., Córdova-Téllez, L., Parra-Terraza, S., Leal-Sandoval, A., Maldonado-Mendoza, I. E., & Sánchez-Peña, P. (2019). Caracterización fenotípica y agronómica de maíces (*Zea mays* ssp. *mays* L.) nativos de Sinaloa, México. *Interciencia*, 44(7), 421-428. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33960285008>
- Lobo Arias, M., & Medina Cano, C. I. (2009). Conservación de recursos genéticos de la agrobiodiversidad como apoyo al desarrollo de sistemas de producción sostenibles. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 10(1), 33-42. <https://www.redalyc.org/pdf/4499/449945026003.pdf>
- Mahama, G. Y., Prasad, P. V. V., Roozeboom, K. L., Nippert, J. B., & Rice, C. W. (2016). Response of maize to cover crops, fertilizer nitrogen rates, and economic return. *Agronomy Journal*, 108(1), 17-31. <https://doi.org/10.2134/agronj15.0136>
- Martínez Álvarez, D. (2015). Ecofisiología del cultivo de maíz. En J. A. Garay & J. C. Cruz Colazo (Eds.), *El cultivo de maíz en San Luis* (pp. 7-31). INTA. https://www.researchgate.net/publication/281273477_El_cultivo_de_maiz_en_San_Luis

- Matta, F. de P. (2000). *Seleção entre e dentro de famílias de meios-irmãos na população de Milho Pipoca Beija-Flor (Zea mays L.)* [Tesis de maestría, Universidade Federal de Viçosa]. Locus UFV.
<https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/fl65ea4c-a880-4bc0-9159-9b285b2a309b/content>
- Medina Scaglia, M. (2001). *Estudio de adaptación de cultivares de maíz para silo a las condiciones de Uruguay* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/25805>
- Melendres-Martínez, J. I., Valdivia-Bernal, R., Lemus-Flores, C., Medina Torres, R., García-López, M., Ortiz-Caton, M., & Tadeo-Robledo, M. (2018). Estimación de parámetros genéticos de maíz bajo mejoramiento por selección recíproca recurrente. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(7), 1327-1337.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342018000701327&script=sci_arttext
- Meraz-Fonseca, M. L., Mendoza-Castillo, M. del C., Kato-Yamakake, T. Á., & Delgado-Alvarado, A. (2015). Phenotypical expression of maize seedlings from lines with the “Tallos Gemelos” trait. *Advances in Botany*, 2015(1), Artículo e171836. <https://doi.org/10.1155/2015/171836>
- Monteith, J. L. (1977). Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(980), 277-294. <http://doi.org/10.1098/rstb.1977.0140>
- Morand, V., & Balbi, C. N. (2020). Maíz para silo de planta entera: Efecto de genotipo y altura de corte en la producción y calidad para alimentación animal. *Información Tecnológica*, 31(3), 231-240. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000300231>

- Munka, C., Silveira, S., García da Rosa, V., Rodríguez, E., Andrade Tardetti, F., Tadich, I., Bonfiglio, M. de los A., Vaio, M., & Vidal, R. (2023) Contribución del monitoreo meteorológico al estudio fenológico de maíz criollo en la Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay. En Instituto Uruguayo de Meteorología (Ed.), *Jornadas Meteorológicas del Uruguay: Meteorología y sociedad - meteorología y producción - meteorología y tecnología* (2ª ed., pp. 21-23). <https://www.inumet.gub.uy/sites/default/files/2024-05/REVISTA%20JORNAMET%20N2%202023.pdf>
- Naciones Unidas. (1992). *Convenio sobre la diversidad biológica*. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2011). *Censo general agropecuario 2011*. MGAP.
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2020). *Anuario estadístico agropecuario 2021*. MGAP.
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2023). *Encuesta Agrícola Invierno 2023*. MGAP.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2022). *Informe de la Novena Conferencia de las Partes del Tratado Internacional sobre Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/67028a1a-98eb-4d1d-af2c-6a4a164ba730/content>
- Oyervides, G. A., Mariaca, P. J. M., De León, C. H., & Reyes, V. M. (1993). Estimación de parámetros genéticos en una población de maíz tropical. *Agronomía Mesoamericana*, 4(1), 30-35. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5542800.pdf>
- Padrón, M., & Lust, A. (1986). *Efecto de la población y la fertilización nitrogenada en la producción de grano y forraje para silo en dos cultivares de maíz* [Trabajo final de grado]. Universidad de la República.

- Paliwal, R. L. (2001). Introducción al maíz y su importancia. En R. L. Paliwal, G. Granados, H. Renée Lafitte, A. D. Violic, & J. Pierre Marathée (Eds.), *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción*. FAO.
<https://www.fao.org/4/x7650s/x7650s00.htm#toc>
- Paterniani, E., (2001). Agricultura sustentável nos trópicos. *Estudos Avançados*, 15(43), 303-326. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142001000300023>
- Paterniani, E., & Goodman, M. M. (1977). *Races of maize in Brazil and adjacent areas*. CIMMYT.
https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/50301000/Races_of_Maize/Raza_Brazil_0_Book.pdf
- Poehlman, J. M., & Sleper, D. A. (2005). *Mejoramiento genético de las cosechas* (2^a ed.). Limusa.
- Porta Umpiérrez, M. B. (2016). *Diversidad y estructura genética del germoplasma de maíz Blanco Dentado de Uruguay mediante microsatélites* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri.
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/28411>
- Prassana, B. M. (2012). Diversity in global maize germplasm: Characterization and utilization. *Journal of Biosciences*, 37, 843-855. <https://doi.org/10.1007/s12038-012-9227-1>
- Ramirez Mandujano, C. A., González Cortés, J. C., & Gómez Sántiz, J. A. (2018). Longitud de mazorca en cruces de maíz Jala con una variedad criolla mejorada. *Ciencia Nicolaita*, (75), 147-163. <https://doi.org/10.35830/cn.vi75.431>
- Ramos, J., Triay, S., & Uteda, A. (2013). *Aptitud pastoril y de calidad forrajera de diferentes cultivares de maíz* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/8758>
- Ritchie, S. W., Hanway, J. J., & Garren, O. B. (1986). *How a corn plant develops*. Iowa State University of Science and Technology.
<https://publications.iowa.gov/18027/1/How%20a%20corn%20plant%20develops001.pdf>

- Rivas, M., Vidal, R., Neitzke, R. S., Priori, D., Almeida, N., Antunes, I. F., Galván, G. A., & Barbieri, R. L. (2023). Diversity of vegetable landraces in the Pampa biome of Brazil and Uruguay: Utilization and conservation strategies. *Frontiers in Plant Science, 14*, Artículo e1232589.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1232589>
- Rocandio-Rodríguez, M., Santacruz-Varela, A., Córdova-Téllez, L., López-Sánchez, H., Castillo-González, F., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J. J., & Ortega-Paczka, R. (2014). Caracterización morfológica y agronómica de siete razas de maíz de los Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana, 37*(4), 351-361.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802014000400008&lng=es&tlng=es.
- Rotili, D. H., & Maddonni, G. A. (2016). Desarrollo vegetativo y reproductivo de vástagos de diferente orden de tres híbridos comerciales de maíz en dos densidades de siembra. *Agronomía & Ambiente, 36*(1), 21-32.
<http://agronomiayambiente.agro.uba.ar/index.php/AyA/article/view/49/48>
- Salhuana, W., Pollak, L. M., Ferrer, M., Paratori, O., & Vivo, G. (1998). Breeding potential of maize accessions from Argentina, Chile, USA and Uruguay. *Crop Science, 38*(3), 866-872.
<https://doi.org/10.2135/cropsci1998.0011183X003800030040x>
- Salhuana, W., Sevilla, R., & Eberhart, S. A. (Eds.). (1997). *Final Report*. Latin American Maize Project.
https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/50301000/Reference_Documents/LAMP-Final-Report-1997.pdf
- Sánchez, I. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *Reduca (Biología), 7*(2), 151-171.
- Sánchez Hernández, M. A., Cruz Vázquez, M., Sánchez Hernández, C., Morales Terán, G., Rivas Jacobo, M. A., & Villanueva Verduzco, C. (2019). Rendimiento forrajero de maíces adaptados al trópico húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 10*(3), 699-712.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i3.1546>
- Satorre, E. H, Benech Arnold, R. L., Slafer, G. A, De la Fuente, E. B., Miralles, D. J., Otegui, M. E., & Savin, R. (2006). *Producción de Granos: Bases funcionales para su manejo*. Universidad de Buenos Aires.

- Silva, N. C. de A., Costa, F. M., Vidal, R., & Veasey, E. A. (2020). *Milhos das terras baixas da América do Sul e conservação da agrobiodiversidade no Brasil e no Uruguai*. Atena.
- Silva, N. C. de A., Vidal, R., Costa, F. M., & Veasy, E. A. (2021). *Raças de Milho do Brasil e Uruguai: Diversidade e distribuição nas Terras Baixas da América do Sul*. Atena.
- Valbuena, D., Erenstein, O., Homann-Kee Tui, S., Abdoulaye, T., Claessens, L., Duncan, A. J., Gerard, B., Rufno, M. C., Teufel, N., Van Rooyen, A., & Van Wijk, M. T. (2012). Conservation agriculture in mixed crop-livestock systems: Scoping crop residue trade-offs in Sub-Saharan Africa and South Asia. *Field Crops Research*, 132, 175-184. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.02.022>
- Vilaró, M. (2013). *Estudio de la diversidad genética de colecciones de maíz (Zea mays L.) del Cono Sur de América* [Tesis de maestría]. Universidad de la República.

9. ANEXOS

Tabla A1

Medias de floración femenina en 150 FMH con letras correspondientes

Familia	Media FF	Letra
147	68,3	a
118	68,3	a
120	68,7	a
31	68,7	a
67	68,7	a
102	68,7	a
137	68,7	a
148	68,7	a
149	68,7	a
29	68,7	a
35	68,7	a
36	68,7	a
41	68,7	a
83	68,7	a
89	68,7	a
125	68,7	a
82	68,7	a
44	68,7	a
17	68,7	a
150	69,0	ab
58	69,0	ab
81	69,0	ab
101	69,0	ab
55	69,0	ab

Familia	Media FF	Letra
105	69,0	ab
8	69,3	ab
144	69,3	ab
63	69,3	ab
106	69,3	ab
119	69,3	ab
145	69,3	ab
64	69,3	ab
70	69,3	ab
76	69,3	ab
136	69,7	ab
108	69,7	ab
133	69,7	ab
138	69,7	ab
79	69,7	ab
98	69,7	ab
122	70,0	ab
114	70,0	ab
46	70,0	ab
32	70,3	ab
95	70,3	ab
99	70,3	ab
112	70,3	ab
123	70,3	ab
131	70,3	ab
20	70,3	ab
25	70,3	ab
45	70,3	ab

Familia	Media FF	Letra
59	70,3	ab
90	70,3	ab
116	70,3	ab
126	70,3	ab
134	70,3	ab
50	70,3	ab
2	70,7	ab
22	70,7	ab
38	70,7	ab
51	70,7	ab
65	70,7	ab
72	70,7	ab
74	70,7	ab
75	70,7	ab
107	70,7	ab
111	70,7	ab
121	70,7	ab
141	70,7	ab
146	70,7	ab
24	70,7	ab
49	70,7	ab
7	70,7	ab
142	70,7	ab
18	70,7	ab
115	71,0	ab
56	71,0	ab
66	71,0	ab
93	71,0	ab

Familia	Media FF	Letra
127	71,0	ab
53	71,0	ab
117	71,3	ab
80	71,3	ab
33	71,3	ab
40	71,3	ab
86	71,3	ab
1	71,7	ab
26	71,7	ab
30	71,7	ab
47	71,7	ab
57	71,7	ab
100	71,7	ab
104	71,7	ab
110	71,7	ab
16	71,7	ab
28	72,0	ab
54	72,0	ab
13	72,0	ab
6	72,0	ab
11	72,0	ab
3	72,3	ab
130	72,3	ab
10	72,3	ab
103	72,3	ab
129	72,3	ab
37	72,3	ab
9	72,3	ab

Familia	Media FF	Letra
42	72,3	ab
48	72,3	ab
52	72,3	ab
4	72,3	ab
15	72,3	ab
135	72,7	ab
88	72,7	ab
92	72,7	ab
96	72,7	ab
132	72,7	ab
139	73,0	ab
23	73,0	ab
5	73,0	ab
143	73,3	ab
109	73,3	ab
140	73,3	ab
62	73,3	ab
71	73,7	ab
78	73,7	ab
87	73,7	ab
69	73,7	ab
39	73,7	ab
84	74,0	ab
94	74,3	ab
19	74,3	ab
60	74,3	ab
12	74,3	ab
128	74,7	ab

Familia	Media FF	Letra
27	74,7	ab
68	75,0	ab
77	75,0	ab
85	75,3	ab
21	75,7	ab
91	75,7	ab
14	75,7	ab
113	76,3	ab
124	76,3	ab
97	76,3	ab
73	76,3	ab
43	77,7	ab
34	78,3	ab
61	80,3	b

Tabla A2

Medias de perímetro de espiga en 150 FMH con letras correspondientes

Familia	Media PE	Letra
94	9,87	a
111	10,80	ab
69	10,80	ab
97	11,10	ab
20	11,23	ab
128	11,27	ab
149	11,30	abc
34	11,33	abc
92	11,35	abc
139	11,50	abc

Familia	Media PE	Letra
35	11,50	abc
64	11,70	abc
54	11,70	abc
93	11,77	abc
102	11,80	abc
52	11,80	abc
135	11,80	abc
41	11,80	abc
136	11,80	abc
75	11,80	abc
73	11,83	abc
72	11,83	abc
68	11,87	abc
88	11,87	abc
96	11,87	abc
146	11,90	abc
110	11,90	abc
131	11,90	abc
21	11,90	abc
103	11,93	abc
7	11,97	abc
99	12,00	abc
53	12,00	abc
5	12,07	abc
129	12,07	abc
147	12,10	abc
126	12,10	abc
43	12,10	abc

Familia	Media PE	Letra
123	12,10	abc
3	12,10	abc
77	12,13	abc
19	12,17	abc
127	12,20	abc
130	12,20	abc
1	12,23	abc
137	12,23	abc
65	12,23	abc
138	12,30	abc
50	12,30	abc
67	12,30	abc
90	12,30	abc
42	12,30	abc
55	12,30	abc
23	12,30	abc
10	12,33	abc
27	12,37	abc
76	12,37	abc
44	12,37	abc
6	12,37	abc
39	12,40	abc
16	12,47	abc
32	12,47	abc
22	12,47	abc
132	12,50	abc
124	12,50	abc
57	12,50	abc

Familia	Media PE	Letra
85	12,50	abc
74	12,53	abc
30	12,57	abc
113	12,57	abc
134	12,57	abc
109	12,57	abc
60	12,57	abc
63	12,57	abc
141	12,60	abc
37	12,60	abc
133	12,60	abc
8	12,60	abc
116	12,60	abc
24	12,60	abc
33	12,60	abc
51	12,60	abc
45	12,63	abc
89	12,67	abc
14	12,67	abc
148	12,70	abc
125	12,70	abc
83	12,70	abc
47	12,70	abc
13	12,73	abc
49	12,75	abc
91	12,80	abc
106	12,80	abc
98	12,80	abc

Familia	Media PE	Letra
144	12,83	abc
61	12,83	abc
105	12,87	abc
40	12,90	abc
11	12,90	abc
112	12,90	abc
119	12,90	abc
59	12,90	abc
58	12,90	abc
122	12,90	abc
36	12,90	abc
31	12,90	abc
84	12,90	abc
104	12,93	abc
150	12,93	abc
28	12,93	abc
38	12,93	abc
12	12,97	abc
25	12,97	abc
48	13,00	abc
140	13,00	abc
62	13,00	abc
118	13,03	abc
4	13,03	abc
2	13,07	abc
114	13,10	abc
80	13,10	abc
9	13,10	abc

Familia	Media PE	Letra
15	13,10	abc
120	13,13	abc
145	13,13	abc
87	13,17	abc
115	13,17	abc
101	13,20	abc
100	13,20	abc
121	13,20	abc
78	13,20	abc
70	13,23	abc
56	13,37	abc
142	13,40	abc
86	13,40	abc
95	13,40	abc
107	13,40	abc
143	13,43	abc
17	13,43	abc
108	13,47	abc
18	13,50	abc
82	13,70	abc
71	13,70	abc
26	13,70	abc
29	13,70	abc
66	13,80	abc
81	13,90	abc
117	14,13	abc
46	15,00	bc
79	15,60	c

Tabla A3*Medias de perímetro de marlo en 150 FMH con letras correspondientes*

Familia	Media PM	Letra
94	6,20	a
64	6,87	a
103	6,97	a
20	7,00	a
135	7,00	a
139	7,03	a
97	7,03	a
55	7,03	a
36	7,1	a
34	7,1	a
60	7,1	a
68	7,13	a
74	7,13	a
102	7,17	a
73	7,2	a
14	7,27	a
10	7,27	a
51	7,33	a
148	7,33	a
39	7,37	a
141	7,37	a
116	7,37	a
3	7,37	a
129	7,4	a
96	7,4	a
93	7,43	a

Familia	Media PM	Letra
99	7,43	a
111	7,47	a
32	7,47	a
30	7,47	a
72	7,47	a
31	7,5	a
131	7,5	a
83	7,5	a
41	7,53	a
128	7,53	a
25	7,53	a
76	7,53	a
52	7,57	a
88	7,57	a
19	7,57	a
27	7,6	a
35	7,6	a
89	7,6	a
53	7,6	a
120	7,63	a
113	7,63	a
138	7,67	a
50	7,7	a
149	7,7	a
33	7,7	a
44	7,7	a
75	7,7	a
91	7,7	a

Familia	Media PM	Letra
106	7,7	a
6	7,7	a
134	7,73	a
67	7,73	a
130	7,73	a
110	7,77	ab
37	7,77	ab
126	7,77	ab
98	7,77	ab
65	7,77	ab
1	7,8	ab
104	7,8	ab
15	7,8	ab
115	7,8	ab
114	7,83	ab
123	7,83	ab
40	7,83	ab
124	7,83	ab
63	7,83	ab
12	7,83	ab
4	7,87	ab
22	7,87	ab
57	7,87	ab
62	7,87	ab
77	7,87	ab
107	7,85	ab
5	7,9	abc
147	7,9	abc

Familia	Media PM	Letra
150	7,9	abc
144	7,9	abc
133	7,9	abc
29	7,9	abc
11	7,9	abc
43	7,93	abc
69	7,93	abc
54	7,93	abc
137	7,97	abc
42	7,97	abc
8	8	abc
28	8,03	abc
86	8,03	abc
100	8,07	abc
132	8,07	abc
136	8,07	abc
24	8,07	abc
17	8,07	abc
48	8,07	abc
21	8,07	abc
101	8,1	abc
45	8,1	abc
38	8,17	abc
143	8,17	abc
84	8,17	abc
140	8,2	abc
127	8,23	abc
118	8,23	abc

Familia	Media PM	Letra
109	8,23	abc
85	8,23	abc
49	8,25	abc
146	8,27	abc
61	8,27	abc
122	8,3	abc
2	8,3	abc
80	8,3	abc
119	8,33	abc
47	8,33	abc
70	8,33	abc
9	8,33	abc
121	8,37	abc
71	8,37	abc
112	8,4	abc
90	8,4	abc
26	8,4	abc
18	8,4	abc
145	8,43	abc
13	8,47	abc
82	8,47	abc
142	8,53	abc
81	8,53	abc
92	8,55	abc
59	8,57	abc
125	8,57	abc
56	8,6	abc
108	8,6	abc

Familia	Media PM	Letra
87	8,63	abc
78	8,63	abc
95	8,63	abc
117	8,67	abc
58	8,67	abc
105	8,77	abc
23	8,80	abc
7	8,80	abc
66	9,03	abc
79	10,67	bc
46	10,8	c

Tabla A4*Coefficientes de las variables para los Componentes Principales (PC)*

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12	PC13
FM	-0,027	0,063	0,495	0,517	0,019	-0,297	0,110	0,438	-0,410	1,359	-0,106	-0,054	-0,255
FF	-0,190	0,153	0,460	0,381	-0,145	-0,022	0,030	-0,457	0,569	-1,083	0,116	0,036	-1,243
AP	0,227	-0,591	-0,123	0,176	-0,097	0,036	0,179	-0,050	0,025	0,541	-1,007	-0,236	-6,616
AE	0,237	-0,547	-0,052	0,285	-0,195	-0,018	0,166	-0,118	0,039	-0,162	1,714	0,238	6,267
V	0,048	-0,138	-0,215	0,257	0,681	-0,325	-0,394	0,135	0,339	0,068	0,639	0,065	-0,050
LE	0,444	0,146	-0,010	0,122	-0,168	-0,019	-0,339	-0,089	-0,150	-1,701	-4,961	0,545	-1,437
PE	0,433	0,167	0,178	-0,047	0,167	0,311	0,107	0,074	0,022	0,681	6,637	0,324	-2,407
NH	0,175	-0,163	0,416	-0,411	0,313	-0,257	0,076	-0,411	-0,120	4,603	-1,770	0,033	0,596
NG	0,391	0,154	-0,026	0,048	-0,241	-0,272	-0,432	-0,276	-0,166	-0,859	3,083	-0,540	0,713
PM	0,368	-0,009	0,287	-0,018	0,118	0,503	-0,092	0,308	0,295	0,186	-3,330	-0,394	2,417
LG	0,265	0,240	-0,121	0,080	0,359	-0,142	0,594	-0,193	-0,101	-5,057	-1,401	-0,152	0,655
AG	0,156	0,379	-0,419	0,317	-0,079	0,023	0,227	-0,085	0,122	6,762	-1,119	-0,047	0,511
EG	-0,234	-0,057	-0,030	0,336	0,327	0,542	-0,204	-0,410	-0,462	0,226	-0,051	-0,061	0,304
Valor propio	3,528	1,905	1,328	1,248	1,082	0,902	0,853	0,688	0,591	0,465	0,200	0,112	0,097

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12	PC13
Varianza													
explicada	0,271	0,147	0,102	0,096	0,083	0,069	0,066	0,053	0,045	0,036	0,015	0,009	0,008
Varianza													
acumulada	0,271	0,418	0,520	0,616	0,699	0,768	0,834	0,887	0,932	0,968	0,983	0,992	1,000
