

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA DE GERMOPLASMAS
DE MAÍZ DE URUGUAY

por

Esteban MIRABALLES IGUINÍ

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2025

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia
“Creative Commons **Reconocimiento – No comercial – Compartir igual**”.



Página de aprobación

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (Dr.) Rafael Vidal

Codirector/a:

Ing. Agr. (Dr.) Andrés Locatelli

Tribunal:

Ing. Agr. (Mag.) Mariana Vilaró

Ing. Agr. (Mag.) Maximiliano Verocai

Ing. Agr. (Dr.) Rafael Vidal

Fecha:

22 de julio de 2025

Estudiante:

Esteban Miraballes Iguiní

Tabla de contenido

Página de aprobación.....	3
Lista de tablas y figuras.....	6
Resumen.....	8
Abstract.....	9
1. Introducción.....	10
1.1. Revisión bibliográfica.....	11
1.1.1. Importancia del maíz.....	11
1.1.2. Contexto mundial de la producción de maíz.....	11
1.1.3. Contexto nacional de la producción de maíz.....	12
1.1.4. Descripción de los materiales genéticos más utilizados.....	13
1.1.4.1 Híbridos.....	13
1.1.4.2. Variedad de Polinización Abierta (vpa.....	13
1.1.4.3. Variedad Criolla (VC).....	13
1.2. Características relevantes en estudios de diversidad genética.....	14
1.2.1. Color de grano.....	14
1.2.2. Diámetro de tallo.....	14
1.2.3. Altura de planta e inserción de la espiga.....	15
1.2.4. Largo de ciclo.....	15
1.2.5. Rendimiento.....	15
2. Objetivos y pregunta de investigación.....	16
2.1. Objetivo general.....	16
2.2. Objetivos específicos.....	16
2.3. Pregunta de investigación.....	16
3. Materiales y métodos.....	17
3.1. Diseño.....	17

3.2. Descriptores agronómicos	20
3.3. Análisis estadísticos.....	21
4. Resultados y discusión	23
4.1. Color del grano.....	23
4.2. Diámetro.....	25
4.3. Altura de la planta	26
4.4. Número de espigas	29
4.5. Altura de espigas	32
4.6. Relación altura de la espiga / altura de la planta	34
4.7. Días de floración	37
4.8. Humedad.....	40
4.9. Peso de espigas.....	41
4.10. Peso de grano.....	43
4.11. Correlaciones entre variables	46
4.12. Análisis de componentes principales (CP)	48
5. Conclusiones	51
6. Bibliografía	53
7. Anexos	58

Lista de tablas y figuras

Tabla N.º	Página
Tabla 1 <i>Poblaciones de maíz estudiadas</i>	19
Tabla 2 <i>Razas de las poblaciones de maíz estudiadas</i>	19
Tabla 3 <i>Color de grano</i>	24
Tabla 4 <i>Frecuencia observada para la característica color de grano</i>	24
Tabla 5 <i>Diámetro de tallo</i>	25
Tabla 6 <i>Altura de planta</i>	27
Tabla 7 <i>Diferencias entre alturas de plantas</i>	28
Tabla 8 <i>Número de espigas por planta</i>	30
Tabla 9 <i>Diferencias entre números de espigas</i>	31
Tabla 10 <i>Altura de espiga</i>	32
Tabla 11 <i>Diferencias entre altura de espigas</i>	33
Tabla 12 <i>Relación altura de espiga / altura de planta</i>	35
Tabla 13 <i>Diferencias entre las medias de las poblaciones para la relación altura espiga / altura planta</i>	36
Tabla 14 <i>Días a floración</i>	38
Tabla 15 <i>Porcentaje de humedad</i>	40
Tabla 16 <i>Peso de espigas</i>	41
Tabla 17 <i>Diferencias entre las medidas de las poblaciones para peso de espiga</i>	42
Tabla 18 <i>Peso de grano</i>	44
Tabla 19 <i>Diferencias entre las medias de las poblaciones para peso de granos</i>	45
Tabla 20 <i>Coeficientes de correlación entre variables</i>	47

Figura N.º	Página
Figura 1 <i>Colores de referencia</i>	21
Figura 2 <i>Color de grano</i>	23
Figura 3 <i>Distribución de las poblaciones del PC1 y PC2 con vectores principales</i>	48

Resumen

El maíz es un cultivo de gran importancia económica y social en Uruguay, utilizado tanto para consumo humano como animal. Por lo tanto, es de gran importancia estudiar la variabilidad genética presente en el país, con el objetivo de identificar variedades adaptadas a condiciones locales y que presenten características favorables frente a factores climáticos adversos, como el déficit hídrico. En este contexto, cobra relevancia la conservación de las variedades criollas, que representan una valiosa fuente de diversidad genética para el mejoramiento y la sostenibilidad del cultivo.

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar las características agronómicas y el rendimiento de 15 poblaciones de maíz en Uruguay, incluidas variedades criollas, poblaciones de selección y variedades de polinización abierta. El ensayo se llevó a cabo en el transcurso de un año que fue particularmente seco, durante la zafra 2022/2023 en la Estación Experimental Centro Regional Sur (CRS) de la Facultad de Agronomía.

Se evaluaron un total de 10 características agronómicas: una cualitativa, el color de grano, registrada en la etapa poscosecha; y nueve cuantitativas. De estas últimas, tres fueron medidas en poscosecha: humedad en grano, peso de espigas y peso de granos. Las seis restantes —diámetro de tallo, altura de planta, número de espigas, altura de espiga, relación altura de espiga con la altura de planta y días a floración— fueron registradas durante el ciclo del cultivo. Los resultados mostraron diferencias significativas en muchas de estas variables, lo cual es de gran importancia, ya que la variabilidad genética es un recurso que podemos aprovechar.

Los resultados subrayan la importancia de seguir evaluando y seleccionando variedades de maíz que maximicen su rendimiento en condiciones climáticas adversas, es clave la conservación de las variedades criollas como una fuente de variabilidad genética. Además, se concluye que las condiciones hídricas deficitarias del experimento influyeron en los resultados obtenidos, lo que resalta la necesidad de realizar estudios adicionales bajo diferentes condiciones ambientales.

Palabras clave: maíz, variedades criollas, déficit hídrico

Abstract

Maize is a crop of great economic and social importance in Uruguay, used for both human and animal consumption. Therefore, studying the genetic variability present in the country is essential in order to identify varieties adapted to local conditions and possessing favorable traits in the face of adverse climatic factors, such as water deficit. In this context, the conservation of landraces becomes especially relevant, as they represent a valuable source of genetic diversity for crop improvement and sustainability.

The objective of this study was to evaluate the agronomic characteristics and yield of 15 maize varieties in Uruguay, including landraces, selection populations, and open-pollination varieties. The trial was conducted in a particularly dry year during the 2022/2023 growing season at the Experimental Station Centro Regional Sur (CRS) of the Faculty of Agronomy. Various agronomic characteristics were evaluated, such as grain color, stem diameter, plant height, number of ears, ear height, ear height/plant height ratio, days to flowering, ear weight, and grain weight. The results showed significant differences in many of these variables, which is of great importance since genetic variability is a resource we can leverage.

The results highlight the importance of continuing to evaluate and select maize varieties that maximize their yield in adverse climatic conditions, with the conservation of criollo varieties being key as a source of genetic variability. Furthermore, it was concluded that the water deficit conditions during the experiment influenced the results obtained, underscoring the need for additional studies under different environmental conditions.

Keywords: maize, landraces, water deficit

1. Introducción

El maíz (*Zea mays L.*) es una planta anual de hábito erecto y con un amplio sistema radicular fibroso, perteneciente a la familia de las poaceas (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 1993). Es una especie diclino monoica, ya que sus inflorescencias femeninas (espigas) y sus inflorescencias masculinas (espiguillas) se encuentran en distintos lugares de la planta (FAO, 1993). La reproducción en maíz se da por polinización cruzada, ya que es una especie alógama (FAO, 1993).

Esta planta se cultiva con el objetivo principal de obtener granos, los que, botánicamente son frutos independientes denominados cariopse. Los granos de maíz se insertan sobre un raquis cilíndrico, y se disponen en hileras que se presentan en un número que, por lo general, varía entre 12 y 16. Las espigas suelen aparecer de a una por tallo, y cada una puede generar de 300 a 1.000 granos (FAO, 1993).

El maíz cultivado es una planta completamente domesticada por el hombre ya que han vivido y han evolucionado juntos, desde tiempos remotos. El maíz, a diferencia de otros cultivos no crece en forma salvaje y no puede sobrevivir en la naturaleza, porque su dependencia de la actividad humana lo hace incapaz de completar su ciclo productivo sin la ayuda del hombre (Kato et al., 2009). El cultivo de maíz tuvo su origen en América Central, especialmente en México, y, luego, se dispersó a lo largo de toda América (FAO, 1993). A lo largo de su dispersión, el maíz ha desarrollado una notable diversidad genética, adaptándose a distintos ambientes y sistemas de cultivo. En este contexto, Uruguay se destaca como un centro de diversidad secundaria, albergando una rica variabilidad genética que refleja procesos de adaptación local y selección por parte de los agricultores (De Almeida Silva et al., 2020).

En este sentido, resulta fundamental estudiar la variabilidad genética presente en las variedades criollas de maíz cultivadas en el país, ya que esta constituye una base esencial para el mejoramiento genético y la adaptación del cultivo a distintas condiciones ambientales. Evaluar materiales diversos, como variedades criollas, poblaciones de selección y variedades de polinización abierta, permite identificar características agronómicas favorables, que pueden contribuir a una producción más eficiente y sostenible. Este trabajo se enmarca en ese objetivo, enfocándose en reconocer diferencias y

caracterizar agronómicamente distintas poblaciones de maíz evaluadas en condiciones de campo en un año muy particular.

1.1. Revisión bibliográfica

1.1.1. Importancia del maíz

El maíz proporciona nutrientes esenciales tanto para humanos como para animales, y es un componente fundamental como insumo para la industria. A partir de él se obtienen productos como almidón, aceite, proteínas, bebidas alcohólicas, bioplásticos y combustible, además, es un ingrediente clave en medios de cultivo de medicamentos como la penicilina (Capehart & Proper, 2019).

En la alimentación humana se consume la mazorca en estado lechoso, lo que se conoce como choclo (Latcham, 1936). Además de utilizarse el grano entero, molido o subproductos industriales de este como alimento para animales, la planta de maíz se utiliza como forraje en la alimentación de ganado en las industrias lácteas y cárnicas.

1.1.2. Contexto mundial de la producción de maíz

El maíz es el segundo cultivo de mayor importancia en volumen de producción, con 1.200 millones de toneladas anuales, solo por debajo de la caña de azúcar, con 1.900 millones de toneladas anuales (FAO, 2022a).

En el periodo 2000-2020 la producción de maíz creció tres veces más rápido que la de trigo y la de arroz (FAO, 2022b), convirtiéndose en el cereal de mayor producción en el mundo. La producción es liderada por Estados Unidos, con más del 31 % del total, seguida de China con 23 % y Brasil con 10 % del total producido en el año 2023 (United States Department of Agriculture [USDA], 2024).

En el periodo 2022/2023, los mayores importadores de maíz a nivel mundial fueron México, China y Japón, mientras que, las exportaciones para el mismo periodo fueron lideradas por Brasil con 56 millones de toneladas, seguido por Estados Unidos con 42 millones de toneladas, y Ucrania con 27 millones de toneladas (USDA, 2024).

1.1.3. Contexto nacional de la producción de maíz

La producción actual de maíz en Uruguay puede dividirse, básicamente, en tres sistemas (Banchero, 2018), cada uno con sus propias características y beneficios, y juntos contribuyen a la diversidad y a la robustez de la producción de maíz en el país.

El sistema principal es la producción extensiva de grano con destino industrial para la elaboración de raciones para animales, productos para consumo humano.

En este sistema, la superficie sembrada de maíz en la zafra 2020/21 alcanzó las 143.000 hectáreas, fue el nivel de siembra más alto de los últimos 40 años, y se obtuvo una producción de 60.5 millones de toneladas (Methol, 2021).

El rendimiento promedio para maíz bajo riego es de 9.200 kg/ha, mientras que para maíz de secano es de 5.847 kg/ha. Cabe destacar que, en la zafra 2020/21 solo el 14 % del área sembrada fue regada. La tasa de crecimiento anual de la productividad ha sido de 3,7 % en los últimos 10 años (Methol, 2021). Este aumento en la productividad está ligado a la profesionalización de la producción debido a la incorporación de mejoras tecnológicas, alto uso de insumos, y al crecimiento de las siembras de segunda o maíz tardío. El material genético predominante utilizado en el sistema extensivo son los híbridos simples y en algunas ocasiones híbrido triples o variedades de polinización abierta.

En segundo lugar, encontramos la producción de reservas forrajeras para abastecer los sistemas de producción animal, los materiales genéticos utilizados son mayormente híbridos triples y variedades de polinización abierta. En este sistema, el maíz es sembrado con el fin de cosechar la planta entera, someterla a un proceso de picado y almacenarla en un silo para luego ser suministrado al ganado.

Por último, en menor escala está la producción de maíz con destino hortícola y autoconsumo. El maíz fresco o grano maduro se utiliza para autoconsumo por parte de los productores y sus familias, además de venderse localmente. En este sistema, el grano molido también se utiliza como alimento para gallinas y las chalas se suministran al ganado como fuente de fibra. El material genético que más se utiliza en este sistema son los híbridos y las variedades criollas.

1.1.4. Descripción de los materiales genéticos más utilizados

1.1.4.1 Híbridos

Hace referencia a «un cultivar proveniente de cruzamiento controlado de padres lo suficientemente uniformes como para repetir la producción sistemática del mismo sin cambios en su constitución» (Ley n.º 16.811, 1997).

1.1.4.2. Variedad de Polinización Abierta (vpa)

Se trata de “una variedad heterogénea de un cultivo de polinización cruzada al cual se le permite interpolinizar libremente durante la producción de semillas” (FAO, 2011, p. 74).

1.1.4.3. Variedad Criolla (vc)

Una variedad local o variedad criolla corresponde a una población dinámica de una especie cultivada que tiene un origen histórico, cualidades que las distinguen de otras, y no ha experimentado el proceso de mejoramiento genético formal, es, por lo general, diversa genéticamente, adaptada localmente y asociada con un agroecosistema familiar (Camacho Villa et al., 2005, Zeven, 1998, como se citan en Maxted et al., 2013).

Según la Resolución n.º 158/014 del Instituto Nacional de Semillas (INASE, 2014) “una variedad criolla debe definirse como una población local seleccionada y mantenida por agricultores en una determinada localidad del Uruguay, durante al menos 15 ciclos productivos” (p. 1).

El maíz fue introducido al actual territorio uruguayo por pueblos indígenas, particularmente los tupí-guaraní, antes de la colonización europea. Durante el periodo colonial, su cultivo se consolidó gracias al aporte de indígenas misioneros, siendo un alimento fundamental para el abastecimiento de los primeros centros urbanos (Rivas et al., 2023).

Las variedades criollas se han adaptado a las condiciones ambientales y culturales de cada territorio en el cual son cultivadas, por lo tanto, la información genética que se genera es un recurso importante para la conservación de la biodiversidad y un insumo para el mejoramiento genético. En este sentido es importante generar estudios que se enfoquen en estas variedades.

Hasta ahora, algunos de los estudios sobre variedades criollas de maíz en Uruguay con los que contamos son los siguientes: De María Richieri, F., Fernández Childs, G., y Zoppolo Goldschmidt, J. C. (1979). *Caracterización agronómica y clasificación racial de las muestras de maíz coleccionadas en Uruguay bajo el proyecto IBPGR y la Facultad de Agronomía*, y, De Almeida Silva, N., C., Costa, F., M., Vidal, R., Veasey, A., (2020). *Maíces de las tierras bajas de América del Sur y conservación de la agrobiodiversidad en Brasil y Uruguay*. Estos trabajos destacan la alta diversidad de maíz que existe en Uruguay. En este contexto, resulta relevante generar información actualizada y complementaria, como la caracterización agronómica de 15 poblaciones conservadas actualmente en Uruguay que se desarrolla en este trabajo.

1.2. Características relevantes en estudios de diversidad genética

1.2.1. Color de grano

La selección de tipos de granos por color ha sido fundamental para la selección del maíz como marcador fenotípico después de su domesticación (Tan et al., 2017). La importancia del color del grano radica en que a menudo está directamente relacionada con la presencia y concentración de ciertos compuestos químicos importantes para la nutrición humana y animal. Por lo tanto, al seleccionar por el color del grano, se está influyendo también en el valor nutricional del maíz, lo cual resalta su relevancia en los programas de mejoramiento genético.

1.2.2. Diámetro de tallo

El diámetro de tallo en plantas de maíz es una característica importante ya que, la resistencia mecánica del tallo disminuye con el diámetro (Zhang et al., 2023). Un tallo más grueso generalmente confiere mayor resistencia al vuelco o quiebre de las plantas, especialmente en condiciones de viento fuerte, lluvia o alta densidad de siembra. El acame puede causar pérdidas significativas en el rendimiento al dificultar la cosecha. Además, tallos más vigorosos tienen un impacto positivo en la acumulación de carbohidratos solubles, cumplen un rol fundamental como fuente de reservas de carbono y energía durante el periodo de post-floración (Zhang et al., 2023).

1.2.3. Altura de planta e inserción de la espiga

La altura de la planta es un rasgo crucial tanto por su alta heredabilidad como por su impacto en la adaptación y en el rendimiento. Este rasgo no solo está influenciado por factores genéticos, sino que también responde a presiones de selección en entornos competitivos, donde la capacidad de interceptar luz y nutrientes es vital, esto influye en la eficiencia del uso de recursos y en la resistencia a factores ambientales, lo que la convierte en un aspecto clave para maximizar el rendimiento (Peiffer et al., 2014).

En cuanto a la altura de inserción de la espiga, esta juega un papel fundamental ya que según donde se ubique determina la fuerza que le va a hacer a la planta. Una espiga más cercana al suelo ejerce menos fuerza de vuelco al tallo, mientras que cuanto más próxima al ápice de la planta se encuentre el riesgo de vuelco es mayor.

1.2.4. Largo de ciclo

El largo ciclo en el cultivo de maíz es una característica clave que nos permite seleccionar variedades para diferentes ambientes y diferentes objetivos. Conocer el número de días que hay entre la siembra y la floración nos permite planificar fecha de siembra para maximizar rendimiento en determinadas condiciones locales (Djaman et al., 2022).

1.2.5. Rendimiento

Estudiar el rendimiento en el cultivo de maíz es esencial para identificar variedades más productivas y optimizar prácticas agronómicas, lo que contribuye a la sostenibilidad y la seguridad alimentaria.

El rendimiento está mayormente determinado por el número de granos fijados por unidad de superficie y el peso de los granos (Andrade et al., 2023).

Para algunos genotipos la prolificidad (número de espigas) genera aumentos en el rendimiento (Parco, 2014).

2. Objetivos y pregunta de investigación

2.1. Objetivo general

Evaluar la diversidad fenotípica de germoplasma nacional de maíz mediante el análisis de características cualitativas y cuantitativas para identificar diferencias significativas que contribuyan a su conservación y aprovechamiento agronómico.

2.2. Objetivos específicos

Identificar diferencias entre poblaciones para variables cualitativas.

Identificar diferencias entre poblaciones para variables cuantitativas de interés agronómico.

Identificar diferencias entre poblaciones del mismo origen con diferencias en el tiempo.

Identificar diferencias entre poblaciones del mismo origen y diferente lugar de selección.

2.3. Pregunta de investigación

¿Existe diversidad entre características de valor agronómico para el germoplasma de maíz de Uruguay?

3. Materiales y métodos

3.1. Diseño

El día 7 de noviembre de 2022, en la Estación Experimental del Centro Regional Sur (CRS) de la Facultad de Agronomía, se instaló en un suelo Brunosol Eutrítico Típico un ensayo con 24 poblaciones de maíz, por problemas de implantación para este estudio se analizaron 15 poblaciones, de las cuales doce fueron variedades criollas conservadas en el Banco de Germoplasma de la Facultad de Agronomía de Uruguay (BGFAgro), una VPA y dos poblaciones de selección (PS).

Las variedades criollas utilizadas corresponden a poblaciones conservadas por los productores y colectadas en el marco de los proyectos CSIC_I+D_400 «Diversidad y Distribución de Razas de Maíz de Uruguay: Identificación de genes de interés y Micro centros de Diversidad Como contribución para su conservación in situ-on farm» y CSIC_VUSP_2_ID34 «Determinación de la susceptibilidad diferencial a infección por Fusarium de variedades criollas de maíz plantadas en diferentes zonas productivas de Uruguay».

Tal como se señala en Ramos Olivera (2024), en el resultado del trabajo que se realizó como parte de un proyecto de investigación entre el International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR) y la Facultad de Agronomía, liderado por José L. De León, la variedad de polinización abierta utilizada es el cultivar maíz Blanco Cangüé, cuyo origen se remonta a 1978, cuando se recolectaron 859 poblaciones de maíz, de las cuales 90 accesiones eran de maíz blanco dentado en tres regiones del Uruguay (litoral, noreste y sur).

Con el fin de desarrollar una variedad exitosa para uso forrajero, el grupo de Fitotecnia de la Facultad creó en 1981 un compuesto racial a partir del maíz blanco dentado colectado en 1978, que, tras ser evaluado y homogeneizado en la Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni (EEMAC), fue entregado a productores para su conservación y multiplicación. Después de cinco años en manos de los agricultores, en 1987, los descendientes de este compuesto ingresaron al programa de mejoramiento de la Facultad de Agronomía. A través de la selección masal y masal estratificada, enfocados en el rendimiento y la calidad de la espiga, se desarrolló el maíz Blanco Cangüé (Alesandri, 2012, p. 3).

Las poblaciones de selección surgen de la variedad Blanco Cangüé, de la cual en una multiplicación en el CRS en 2017-18 se seleccionaron las 150 mejores espigas, lo que correspondió al 20 % superior. Luego, se desgranaron individualmente cada una de las espigas separando en tercios los granos. Se instalaron en diciembre de 2019 dos ensayos de evaluación de familias de medios hermanos (FMH) uno en la EEMAC, departamento de Paysandú y otro en CRS, departamento de Canelones, el tercio restante se almacenó en cámara como reserva. De cada evaluación de FMH se seleccionaron las 30 mejores familias (Ramos Olivera, 2024). En los años 2021 y 2022 se instalaron parcelas para la recombinación de las mejores FMH por separado, de esos cruzamientos resultan las poblaciones de selección «PS-CRS» y «PS-EEMAC».

El diseño establecido en el experimento fue de bloques completos aleatorizados.

Las herramientas utilizadas para la preparación del suelo fueron; arado de cincel, rastra y excéntrica; la siembra se hizo manualmente y el cultivo no recibió fertilización.

Se sembraron tres bloques de 21.75 m x 5 m cada uno, que comprendía un área de 108.75 m² y los tres bloques en conjunto ocuparon un área de 326.25 m².

Cada bloque fue conformado por 24 parcelas distribuidas aleatoriamente, donde cada parcela corresponde a 46 plantas de la misma variedad organizadas en dos hileras de 23 plantas cada una, con una distancia entre hileras de 0.75 m y una distancia entre las plantas de cada hilera de 0.217 m, formando una parcela de 7.5 m², y generando una densidad de plantación de 4.5 plantas por metro lineal, lo que corresponde a seis plantas por m².

Se hizo un riego estratégico hasta la fase de V6 para asegurar la implantación del ensayo.

Además, en ambos extremos de cada bloque se sembró maíz del cultivar Blanco Cangüé para minimizar el efecto borde. Durante el cultivo se hizo seguimiento de plagas y se aplicó *Bacillus thuringiensis* como herramientas de control biológico. Las 15 poblaciones utilizadas se describen a continuación en las tablas 1 y 2:

Tabla 1*Poblaciones de maíz estudiadas*

Código de población	Origen	Código del Banco	Nombre común	Año de colecta	Tipo de población
1	Rivera	8741	Rubí	2021	VC
2	Canelones	9230	PS-CRS	2022	PS
3	Paysandú	9345	PS-EEMAC	2021	PS
4	Colonia	9079	Diente de Caballo	2022	VC
5	Colonia	9080	Alazán	2022	VC
6	Colonia	9232	Ocho Carreras	2022	VC
7	Rocha	8812	Morocho	2017	VC
8	Paysandú	9338	Blanco Cangüé	2021	VPA
9	Rivera	8803	Palha Roxa	2017	VC
10	Canelones	8800	Blanco (Estevez)	2017	VC
11	Canelones	8809	Maíz Común	2017	VC
12	Canelones	8801	Blanco (Gonzalez)	2017	VC
13	Tacuarembó	8799	Catete	2017	VC
14	Rivera	9031	Palha Roxa	2022	VC
15	Canelones	9029	Blanco (Estevez)	2022	VC

Tabla 2*Razas de las poblaciones de maíz estudiadas*

Código de población	Nombre común	Raza	Tipo de población
1	Rubí	Complejo cateto sulino	VC
2	PS-CRS	Blanco dentado	PS
3	PS-EEMAC	Blanco dentado	PS
4	Diente de Caballo	Blanco dentado	VC
5	Alazán	Complejo cateto sulino	VC
6	Ocho Carreras	Blanco dentado/8 Carreras	VC
7	Morocho	Blanco dentado	VC
8	Blanco Cangüé	Blanco dentado	VPA
9	Palha Roxa	Complejo cateto sulino	VC
10	Blanco (Estevez)	Blanco dentado	VC
11	Maíz Común	Complejo cateto sulino	VC
12	Blanco (Gonzalez)	Blanco dentado	VC
13	Catete	Avati Moroti	VC
14	Palha Roxa	Complejo cateto sulino	VC
15	Blanco (Estevez)	Blanco dentado	VC

3.2. Descriptores agronómicos

A lo largo del ciclo del cultivo fueron evaluados los siguientes descriptores agronómicos: Diámetro de tallo, Altura de la Planta, Número de espigas, Altura de la Mazorca, Días a Floración Masculina, Días a Floración Femenina, Peso de Espiga y Peso de Grano (International Board for Plant Genetic Resources [IBPGR], 1991).

El 31 de mayo de 2023 se cosecharon las espigas de 10 plantas por parcela y se trasladaron hasta la Facultad de Agronomía, en la sede Sayago, donde se colocaron en estufa a 35 grados Celsius. Para el monitoreo de la humedad se utilizó una muestra testigo del borde con una humedad de 24.3 %.

Cada cuatro días se midió la humedad de los granos de las espigas de la muestra testigo hasta llegar a un porcentaje de humedad de alrededor de 12 %.

El 20 de junio se sacaron las espigas de la estufa, se deschalaron y se dispusieron sobre una mesa para registrar el número total de espigas, el color y el estado en el que se encontraban. Cada registro fotográfico contenía a su vez la etiqueta donde se detallaba el número de bloque, el número de parcela y el nombre de la variedad a la cual correspondían dichas espigas.

Luego de la fotografía se registró en una planilla *Excel*; nombre de la variedad, número de parcela, número de bloque, número de espigas y peso de estas en gramos, el cual fue obtenido con una balanza digital.

A continuación, se procedió a desgranar las espigas en una desgranadora eléctrica, para luego pesar los granos de todas las espigas de la bolsa y medirle el contenido de humedad por conductancia con un humidímetro portátil modelo Wile 55. Los resultados se registraron en la planilla como «Peso de granos (g)» y «Porcentaje de humedad (%)».

Los granos de cada parcela se colocaron en una bolsa de papel en la que se registró el nombre de la variedad, número de bloque y número de parcela a la cual correspondían, y se almacenó en la precámara del banco de germoplasma de la Facultad de Agronomía.

Luego de tener todos los datos en la planilla, se procedió a corregir los datos de peso de granos y peso de espigas por un dato estándar de contenido de humedad, ya que variaban entre 7.9 % y 13.3 % y esto dificultaba la posterior comparación de los datos.

El valor de contenido de humedad por el cual se corrigió fue 14 %, utilizando las siguientes fórmulas (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo [CIMMYT], 2012, p. 10):

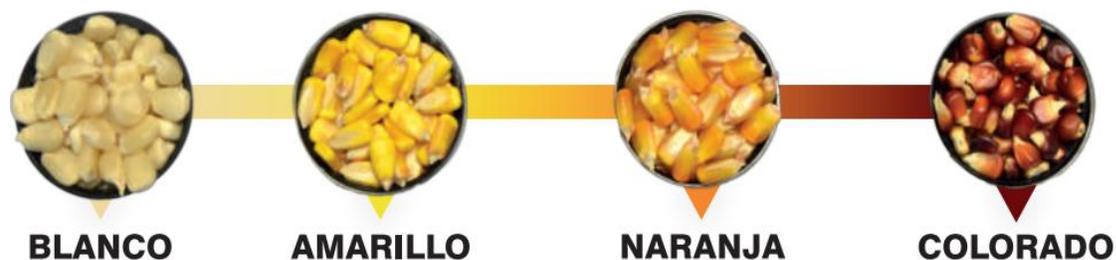
Peso de grano (g) – Peso del agua (g) / (1-0.14) = Peso de grano (g) con 14 % de humedad.

Peso de espigas (g) – Peso del agua (g) / (1- 0.14) = Peso de espigas (g) con 14 % de humedad.

Para caracterizar los colores de granos se utilizó la clasificación de colores establecida por el Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA), y que se observa en la figura 1 (Cuitiño & Cardozo, 2018, p. 33).

Figura 1

Colores de referencia



Nota. Adaptado de Cuitiño y Cardozo (2018).

3.3. Análisis estadísticos

El análisis estadístico se realizó utilizando el software RStudio ®. Para cada una de las características se realizó el test de normalidad Shapiro -Wilk para conocer si los datos presentaban una distribución normal, luego, se realizó análisis de varianza (ANAVA) para saber si había diferencias significativas entre los bloques del experimento y entre las poblaciones (ver anexos).

Luego, en el caso de presentar diferencias significativas entre los bloques, o al menos una de las poblaciones, se realizó el test de Tukey.

En los casos en que los datos no presentaron una distribución normal, se realizó un test Kruskal-Wallis para determinar si existen diferencias significativas entre las poblaciones.

4. Resultados y discusión

4.1. Color del grano

Tal como se ve en la figura 2, los colores observados en las poblaciones incluyen blanco, amarillo, naranja y colorado, que aparecieron en distintas frecuencias.

El color de grano que predomina en las 15 poblaciones analizadas es el blanco, seguido por el naranja, luego por amarillo, y colorado en igual proporción.

Si analizamos los resultados separando el tipo de germoplasma se puede observar que las dos poblaciones de selección y la VPA son blancas, mientras que en las VC aparecen seis poblaciones blancas, una amarilla, cuatro, naranja, y una colorada.

Figura 2

Color de grano



El color del grano y las respectivas frecuencias se aprecian en las siguientes tablas 3 y 4.

Tabla 3

Color de grano

Variedad	Color
1	Colorado
2	Blanco
3	Blanco
4	Blanco
5	Naranja
6	Blanco
7	Blanco
8	Blanco
9	Naranja
10	Blanco
11	Naranja
12	Blanco
13	Amarillo
14	Naranja
15	Blanco

Tabla 4

Frecuencia observada para la característica color de grano

Color	Frecuencia observada
Blanco	9
Amarillo	1
Naranja	4
Colorado	1

Si analizamos los resultados de la colecta de 1978 a cargo del Ing. De León, para esta característica, observamos que el predominó el color naranja (Costa et al., 2020).

Por lo tanto, al comparar el resultado entre el estudio de 1978 (De María Richieri et al., 1979) y este análisis, se puede observar que, si bien los colores eran los mismos, se presentaban en distinta frecuencia siendo naranja el color que más apareció en el primer estudio y blanco en este.

En la colecta del 2017, según Costa et al. (2020), los colores de grano presentes en Uruguay son blanco, amarillo, naranja, púrpura, marrón, amarillo claro y rojo. El color blanco también aparece en mayor porcentaje.

4.2. Diámetro

La tabla 5 muestra los diámetros de tallo observados en las poblaciones variaron entre 0.9 cm y 2.5 cm. El diámetro máximo se registró en las poblaciones 3 y 14, mientras que los valores mínimos se observaron en las poblaciones 7 y 8. Se calcularon diámetros promedio para cada población, los cuales oscilaron entre 1.4 cm y 1.6 cm. Es importante destacar que el desvío estándar dentro de cada población se situó entre 0.2 cm y 0.4 cm, lo que indica una variabilidad moderada en el diámetro del tallo entre las diferentes poblaciones analizadas.

Tabla 5

Diámetro de tallo

Varietal	Promedio	Máximo	Mínimo	Varianza	Desvío estándar
5	1.6	2.3	1.1	0.1	0.3
1	1.6	2.2	1.2	0.1	0.2
3	1.6	2.5	1.1	0.1	0.3
12	1.6	2.2	1.0	0.1	0.3
6	1.6	2.3	1.1	0.1	0.3
10	1.6	2.4	1.0	0.1	0.4
14	1.6	2.5	1.0	0.1	0.4
9	1.5	2.4	1.0	0.1	0.3
4	1.5	2.1	1.1	0.0	0.2
2	1.5	1.9	1.2	0.0	0.2
13	1.5	2.4	1.0	0.2	0.4
11	1.5	2.3	1.0	0.1	0.3
7	1.4	1.8	0.9	0.0	0.2
15	1.4	1.8	1.0	0.0	0.2
8	1.4	2.1	0.9	0.1	0.3
Media general	1.5	2.5	0.9	0.1	0.3

El test de normalidad Shapiro-Wilk presentó un resultado de $W = 0.98031$ y un p -valor de 0.6325, lo que indica que los datos se distribuyen normalmente. El análisis de varianza (ANOVA) arrojó como resultado que no hay diferencias significativas entre las poblaciones (ver anexo A Tabla A1).

La característica del diámetro del tallo en las plantas de maíz es fundamental debido a su relación con el desarrollo y el rendimiento de las plantas. Un tallo más grueso no solo está asociado con una mayor resistencia al vuelco, permitiendo que las plantas se mantengan erguidas en condiciones adversas, sino que también favorece el rendimiento al proporcionar un soporte sólido para las mazorcas y maximizar la producción de biomasa. Por el contrario, los tallos de menor diámetro confieren a las plantas cierta susceptibilidad a los vientos, lo que puede provocar el acame característico de algunas variedades (Rodríguez-Larramendi et al., 2016).

La falta de diferencias significativas en el diámetro del tallo puede ser atribuida a varias causas, como el tamaño de la muestra analizada o a que las poblaciones evaluadas comparten una base genética similar en este aspecto. También es posible que las condiciones de cultivo, como el tipo de suelo, el manejo agronómico y el clima, hayan contribuido a una expresión fenotípica similar entre las poblaciones. Por ejemplo, en estudios realizados en México, se observó que el diámetro del tallo de variedades locales de maíz oscilaba entre 1.7 cm y 2 cm (Rodríguez-Larramendi et al., 2016). Las discrepancias entre estos resultados y los obtenidos en este estudio podrían atribuirse a diferencias en las condiciones ambientales, como el déficit hídrico ocurrido durante el experimento, así como a variaciones genéticas.

4.3. Altura de la planta

Como se describe en la tabla 6, los valores de altura de planta observados en las distintas poblaciones variaron entre 51 cm y 191 cm, en este sentido, la altura máxima alcanzada fue por la población 2 y la altura mínima correspondió a la variedad 5.

Los valores promedio por población estuvieron entre 98 cm y 160 cm, con un desvío estándar dentro de cada población que estuvo entre 12 cm y 22 cm.

Tabla 6*Altura de planta*

Variedad	Promedio	Máximo	Mínimo	Varianza	Desvío estándar
2	160	191	128	231	15
4	147	188	121	408	20
3	141	176	115	294	17
6	141	191	95	488	22
10	128	170	90	380	20
9	128	162	92	322	18
1	125	157	103	252	16
8	120	148	87	214	15
14	120	162	90	268	16
15	119	144	100	144	12
12	118	164	93	397	20
7	115	149	85	173	13
5	102	127	51	240	15
11	102	132	75	209	14
13	98	129	73	143	12
Media general	124	191	51	563	24

El test de normalidad Shapiro - Wilk dio como resultado: $W = 0.958$ y $p\text{-valor} = 0.102$.

Los datos se distribuyen normalmente y hay diferencias significativas entre las poblaciones según el ANOVA (ver anexo B Tabla B1).

Tabla 7*Diferencias entre alturas de plantas*

Variedad	Media	Intervalo de confianza	
		Límite inferior	Límite superior
13	98.40 a	84.5	112.0
11	101.50 a	87.6	115.0
5	101.60 a	87.7	115.0
7	114.90 ab	101.0	129.0
12	118.40 ab	104.5	132.0
15	118.80 ab	104.9	133.0
14	119.60 ab	105.7	133.0
8	120.00 ab	106.1	134.0
1	125.00 abc	111.1	139.0
9	127.70 abc	113.8	142.0
10	128.50 abc	114.6	142.0
6	140.60 bc	126.7	155.0
3	140.90 bc	127.0	155.0
4	147.40 bc	133.5	161.0
2	160.00 c	146.1	174.0

Nota. Ajuste del valor p: método de Tukey para comparar una familia de quince estimaciones. Nivel de significancia utilizado: alfa = 0.05. Si dos o más medias comparten el mismo símbolo de agrupación, entonces, no podemos demostrar que son diferentes. Pero tampoco demostramos que son iguales.

La tabla 7 nos muestra que, al comparar las medias de altura de las variedades se observa que la población 2 tiene una mayor altura promedio que las poblaciones 13, 11, 5, 7, 12, 15, 14 y 8, con un nivel de confianza del 95 %. Asimismo, las poblaciones 6, 3 y 4 también presentan una altura promedio mayor que las poblaciones 13, 11 y 5, también a un 95 % de confianza.

Al comparar los resultados con los datos de De María Richieri et al. (1979), donde la altura promedio de 859 poblaciones de maíz fue de 169.4 cm y el desvío estándar de 14.7 cm, se observa una diferencia notable, ya que en este estudio la altura promedio

registrada fue de 124 cm con un desvío estándar de 24 cm lo que indica una variabilidad más amplia en las mediciones de altura del maíz en la investigación actual.

En un experimento realizado en las comunidades «Agua Dulce Dos» y «24 de Febrero» de la región Frailesca de Chiapas, México, se registraron alturas entre 120 cm y 236 cm a los sesenta días, desde la siembra, dependiendo de la variedad y las condiciones agroecológicas de las comunidades. Esta generalización abarca los valores extremos registrados en las diferentes localidades y etapas de crecimiento (Rodríguez-Larramendi et al., 2016).

La diferencia de altura observada en las plantas de ambos estudios puede deberse a efectos ambientales como el déficit hídrico o a diferencias genéticas.

En el período comprendido entre la siembra y la cosecha del maíz cultivado en el CRS en la zafra 2022/2023 llovieron 482 mm. Teniendo en cuenta que dependiendo de la localidad el consumo de agua del cultivo de maíz puede variar de 450 a 600 mm durante la temporada de crecimiento (Giménez, 2012), el crecimiento pudo verse limitado por la falta de agua en el suelo, impidiendo el crecimiento óptimo en altura.

Para esta característica no se observan diferencias significativas entre las variedades que son la misma, pero de colectas de diferentes años como Palha Roxa y Blanco Estévez, que presentaban colectas del año 2017 y 2022.

La variedad Blanco Cangüé presenta diferencias con datos de altura obtenidos en otros estudios previos (zafra 2009/2010), donde la altura promedio para la variedad fue 2 m (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA] & INASE, 2010), y 2 m según la evaluación nacional de cultivares de 2012 (INIA & INASE, 2013), mientras que, en este caso la altura promedio fue 1.2 m. Esta diferencia en el crecimiento puede deberse al estrés hídrico, ya que se ha demostrado que el estrés hídrico en el maíz reduce la altura de la planta (Çakir, 2004).

4.4. Número de espigas

La tabla 8 presenta el número de espigas por plantas que se obtuvo de dividir la cantidad de espigas colectadas sobre el número de plantas que se cosecharon por parcela. En cada parcela se cosecharon diez plantas.

El número de espigas observado por población varió entre 0.6 y 1.2. El mayor número de espigas por población se observó en la variedad 6, mientras que, el menor número se observó en las variedades criollas 7, 9 y 14.

El número de espigas promedio por población se encontró entre 0.73 y 1.07, con un desvío estándar dentro de cada población que estuvo entre 0 y 0.26.

Tabla 8

Número de espigas por planta

Variedad	Promedio	Máximo	Mínimo	Varianza	Desvío estándar
6	1.07	1.20	1.00	0.01	0.12
10	1.07	1.10	1.00	0.00	0.06
3	1.03	1.10	1.00	0.00	0.06
2	1.00	1.10	0.90	0.01	0.10
4	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00
15	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00
12	0.97	1.00	0.90	0.00	0.06
5	0.93	1.00	0.80	0.01	0.12
8	0.93	1.00	0.80	0.01	0.12
11	0.93	1.00	0.90	0.00	0.06
13	0.93	1.00	0.90	0.00	0.06
1	0.90	1.00	0.80	0.01	0.10
7	0.90	1.10	0.60	0.07	0.26
9	0.73	0.90	0.60	0.02	0.15
14	0.73	1.00	0.60	0.05	0.23
Media general	0.94	1.20	0.60	0.02	0.14

El test de normalidad Shapiro - Wilk realizado a los residuales dio como resultado: $W = 0.977$ y $p\text{-valor} = 0.526$.

Los datos se distribuyen normalmente y hay diferencia significativa entre las poblaciones según ANOVA (ver anexo C Tabla C1).

La tabla 9 muestra la comparación entre las medias de las poblaciones.

Tabla 9*Diferencias entre números de espigas*

Variedad	Media	Intervalo de confianza	
		Límite inferior	Límite superior
9	0,733 a	0,598	0,869
14	0,733 a	0,598	0,869
7	0,900 b	0,765	1,035
1	0,900 b	0,765	1,035
8	0,933 bc	0,798	1,069
5	0,933 bc	0,798	1,069
11	0,933 bc	0,798	1,069
13	0,933 bc	0,798	1,069
12	0,933 bc	0,831	1,102
2	0,967 bc	0,865	1,135
4	1,000 bc	0,865	1,135
15	1,000 bc	0,865	1,135
3	1,000 bc	0,898	1,169
6	1,067 c	0,931	1,202
10	1,067 c	0,931	1,202

Nota. Ajuste del valor p: método de Tukey para comparar una familia de quince estimaciones. Nivel de significancia utilizado: alfa = 0.1. Si dos o más medias comparten el mismo símbolo de agrupación, entonces no podemos demostrar que son diferentes. Pero tampoco demostramos que son iguales.

Las variedades criollas 6 y 10 presentaron diferencias significativas con las variedades criollas 9, 14, 7 y 1 con 95 % de confianza.

La variedad Palha Roxa (9 y 14), siendo colectas de diferentes años, mantuvo diferencias significativas con otras poblaciones, pero no con ella misma. Esta consistencia en esta característica significa que se ha mantenido estable en la población.

En este estudio, al igual que en el realizado por De María Richieri et al. (1979), donde la prolificidad media medida en espigas por planta fue de 0.8, se observó que las variedades criollas presentaron un menor número de espigas por planta en comparación con las variedades comerciales, que generalmente producen una espiga por planta. Las

variedades criollas, sin embargo, se caracterizan por generar más de una espiga por planta, lo que puede ser beneficioso en años con condiciones climáticas favorables, donde no hay limitantes hídricas ni de otro tipo, ya que es otro lugar donde se van a generar granos. No obstante, en años con limitaciones hídricas, como el del experimento, la espiga extra tiende a abortar (R. Vidal & A. Locatelli, comunicación personal, 2025).

La variedad Blanco Cangüé presentó un menor número de espigas por planta que lo que indica la descripción varietal de la VPA; se señala en Ramos Olivera (2024), el promedio sería de 1,1 espigas por planta (p. 60).

Esta diferencia también puede adjudicarse a las condiciones hídricas del experimento.

4.5. Altura de espigas

La altura de la espiga observada por población varió entre 10 cm y 121 cm. La población en la cual se observó la menor altura de la mazorca corresponde a la variedad 5, mientras que la variedad que tuvo individuos con la mayor altura de mazorca fue la 4.

La altura de espiga promedio por población se encontró entre 40 cm y 88 cm, con un desvío estándar dentro de cada población que estuvo entre 9.8 cm y 20.3 cm.

En las tablas 10 y 11 se detallan los valores de la altura de la espiga de las distintas poblaciones y la comparación entre las medias.

Tabla 10

Altura de espiga

Variedad	Promedio	Máximo	Mínimo	Varianza	Desvío estándar
2	88	120	59	207	14.4
4	76	121	45	411	20.3
3	74	113	55	192	13.9
6	72	120	41	218	14.8
10	62	98	31	274	16.6
9	61	93	32	191	13.8
1	56	80	33	155	12.4
8	56	79	35	140	11.8
14	55	90	34	141	11.9
12	53	90	31	205	14.3
15	52	78	34	102	10.1
7	50	71	30	96	9.8
13	47	68	25	144	12.0
11	45	73	28	110	10.5
5	40	60	10	145	12.0
Media general	59	121	10	346	18.6

El test de normalidad Shapiro – Wilk dio como resultado: $W = 0.950$ y $p\text{-valor} = 0.052$.

Los datos se distribuyen normalmente y hay diferencia significativa entre las poblaciones según ANOVA (ver anexo D Tabla D1).

Tabla 11

Diferencias entre altura de espigas

Variedad	Media	Intervalo de confianza	
		Límite inferior	Límite superior
5	39.6 a	27.6	51.7
11	45.1 ab	33.1	57.1
13	47.5 ab	35.4	59.5
7	49.8 ab	37.8	61.9
15	52.4 ab	40.0	64.5
12	52.9 ab	40.8	64.9
14	54.9 ab	42.9	66.9
8	55.9 ab	43.9	67.9
1	55.9 ab	43.9	68.0
9	60.8 abc	48.7	72.8
10	62.2 abc	50.1	74.2
6	72.5 bc	60.4	84.5
3	74.3 bc	62.3	86.4
4	75.6 bc	63.6	87.7
2	88.1 c	76.1	100.2

Nota. Ajuste del valor p : método de Tukey para comparar una familia de 15 estimaciones. Nivel de significancia utilizado: $\alpha = 0.05$. Si dos o más medias comparten el mismo símbolo de agrupación, entonces no podemos demostrar que son diferentes. Pero tampoco demostramos que son iguales.

La variedad 5 presenta menor altura de espiga que las poblaciones 6, 3, 4 y 2. Mientras que, las poblaciones 11, 13, 7, 15, 12, 14, 8 y 1 presentan menor altura de espiga que la población 2.

De María Richieri et al. (1979), a partir del estudio de variedades criollas realizado, obtuvieron como resultado una altura de la espiga promedio de 107.2 cm y un desvío estándar de 14.4 cm.

En este estudio, las variedades criollas de maíz presentaron una menor altura de inserción de espiga en comparación con los datos reportados para híbridos comerciales. Este resultado es consistente con investigaciones previas, que también han reportado que las variedades criollas, al estar menos mejoradas genéticamente, tienden a desarrollar espigas más cerca del suelo.

Esto puede ser una adaptación favorable en entornos donde se requiere resistencia al vuelco, pero, a su vez, puede limitar el rendimiento en sistemas de cultivo de alta densidad, donde las plantas comerciales tienden a desarrollar espigas a alturas mayores para mejorar la absorción de luz y la eficiencia del uso de nutrientes (Li et al., 2022; Wang et al., 2023).

En Uruguay, estudios sobre maíces criollos también muestran una menor altura de espiga en comparación con híbridos, lo que destaca la importancia de mantener estas variedades locales por sus características adaptativas, pero resalta la necesidad de mejoramiento genético para aumentar su productividad en sistemas modernos de producción agrícola (De Almeida Silva et al., 2020; Pierre et al., 2023).

La variedad Blanco Cangüé en estudios anteriores (zafra 2009/2010) reportó una altura de espiga promedio de 1.24 m (INIA & INASE, 2010). Mientras que, en este estudio la altura de espiga promedio fue bastante inferior, con 0.56m promedio.

4.6. Relación altura de la espiga / altura de la planta

La relación entre la altura de la espiga y la altura de la planta observada por población varió entre 0.17 y 0.67; esta relación nos da una idea de cuán propensa es la planta al vuelco ya que una menor relación indica que la espiga está más cerca del suelo por lo tanto le ejerce menos fuerza de vuelco a la planta. La población en la cual se observó la menor relación entre la altura de la espiga y la altura de la planta fue la variedad 5, mientras que la variedad que tuvo individuos con la mayor relación fue la 13.

La relación promedio por población se encontró entre 0.39 y 0.55, con un desvío estándar dentro de cada población que estuvo entre 0.05 y 0.09.

Las tablas 12 y 13 muestran la relación entre altura de espiga y altura de planta y las diferencias entre las medias de las poblaciones.

Tabla 12

Relación altura de espiga / altura de planta

Variedad	Promedio	Máximo	Mínimo	Varianza	Desvio estándar
5	0.39	0.54	0.17	0.008	0.09
7	0.43	0.56	0.32	0.005	0.07
15	0.44	0.58	0.33	0.004	0.06
11	0.44	0.59	0.36	0.003	0.06
12	0.45	0.57	0.32	0.004	0.06
1	0.45	0.56	0.25	0.005	0.07
14	0.46	0.62	0.36	0.005	0.07
8	0.47	0.59	0.30	0.006	0.08
9	0.48	0.58	0.35	0.004	0.06
10	0.48	0.58	0.30	0.005	0.07
13	0.48	0.67	0.31	0.009	0.09
4	0.51	0.64	0.35	0.006	0.08
6	0.52	0.66	0.43	0.004	0.06
3	0.53	0.64	0.45	0.003	0.05
2	0.55	0.66	0.39	0.005	0.07
Media general	0.47	0.67	0.17	0.007	0.08

El test de normalidad Shapiro – Wilk dio como resultado: $W = 0.982$ y $p\text{-valor} = 0.728$

Los datos se distribuyen normalmente y hay diferencia significativa entre las poblaciones (ver anexo E Tabla E1).

Tabla 13

Diferencias entre las medias de las poblaciones para la relación altura espiga / altura planta

Variedad	Media	Intervalo de confianza	
		Límite inferior	Límite superior
5	0.387 a	0.336	0.44
7	0.433 ab	0.382	0.49
15	0.441 ab	0.389	0.49
11	0.442 ab	0.390	0.49
12	0.442 ab	0.391	0.49
1	0.447 ab	0.395	0.50
14	0.459 ab	0.408	0.51
8	0.466 ab	0.414	0.52
9	0.476 ab	0.424	0.53
10	0.478 ab	0.426	0.53
13	0.478 ab	0.427	0.53
4	0.507 ab	0.455	0.56
6	0.515 ab	0.464	0.57
3	0.526 b	0.474	0.58
2	0.550 b	0.498	0.60

Nota. Ajuste del valor p: método de Tukey para comparar una familia de quince estimaciones. Nivel de significancia utilizado: alfa = 0.05. Si dos o más medias comparten el mismo símbolo de agrupación, entonces no podemos demostrar que son diferentes. Pero tampoco demostramos que son iguales.

La variedad 5 presenta menor relación entre la altura de la de planta y la altura de mazorca que las poblaciones 3 y 2.

En este estudio se observó que las poblaciones criollas de maíz presentaron una relación más baja entre la altura de la espiga y la altura total de la planta en comparación con los híbridos comerciales. Este resultado es coherente con lo encontrado en estudios previos realizados en Uruguay, donde los híbridos comerciales suelen alcanzar alturas de espiga de aproximadamente 135 cm, mientras que, la altura total de la planta se sitúa alrededor de los 235 cm, lo que les otorga una mayor proporción de altura de espiga a

planta (Methol & Pizzanelli, 2022). Por otro lado, las variedades criollas evaluadas en Uruguay y Brasil han demostrado adaptarse a sistemas de baja tecnología y condiciones locales, lo que resulta en una menor altura tanto de la planta como de la espiga (Costa et al., 2020).

Estas diferencias en la arquitectura de la planta entre los híbridos comerciales y las variedades criollas pueden atribuirse al proceso de mejoramiento genético que favorece una mayor altura de espiga en los híbridos, para maximizar la eficiencia en la absorción de luz y optimizar el rendimiento en cultivos de alta densidad. En contraste, las variedades criollas, aunque bien adaptadas a sus condiciones locales, presentan un menor rendimiento, pero una mayor resistencia al vuelco debido a esta característica estructural.

4.7. Días de floración

Días a la floración masculina

El número de días desde la siembra hasta la floración masculina varió desde 85 días en la variedad más temprana (variedad 11), hasta 99 días en las más tardías (variedades 1 y 9).

El promedio general de días desde siembra a floración para las quince poblaciones fue de 93.4 días con una varianza de 16.4 y un desvío estándar 4.

Días a la floración femenina

El número de días desde la siembra hasta la floración femenina varió desde 94 días en la variedad más temprana (variedad 11), hasta 106 días en las más tardías (variedades 1 y 9).

El promedio general de días desde siembra a floración para las 15 poblaciones fue de 100 días, con una varianza de 13.6 y un desvío estándar 3.6.

En la tabla 14 se muestra la cantidad de días transcurridos desde la siembra a la floración.

Tabla 14*Días a floración*

Variedad	Días	
	Siembra - Floración masculina	Siembra - Floración femenina
1	99	106
2	88	96
3	97	104
4	92	100
5	94	99
6	92	100
7	95	101
8	97	104
9	99	106
10	88	96
11	85	94
12	94	99
13	92	97
14	95	101
15	94	99
Promedio General	93,4	100
Varianza	16,4	13,3
Desvío estándar	4	3,6

El test de normalidad Shapiro - Wilk dio como resultado: $W = 0.933$ y $p\text{-valor} = 0.012$ (ver anexos F y G).

Los datos no se distribuyen normalmente, por lo tanto, se realizó un test Kruskal-Wallis el cual dio como resultado: Chi-cuadrado = 44, Grados de libertad = 14 y $p\text{-valor} = 5.92e-05$. por lo tanto, hay diferencias significativas entre las poblaciones para la variable días a floración femenina.

Para la variable días a floración masculina los datos tampoco se distribuyen normalmente, por lo tanto, se realizó un test Kruskal-Wallis el cual dio como resultado: Chi-cuadrado = 44, Grados de libertad = 14 y $p\text{-valor} = 5.92e-05$. por lo tanto, hay diferencias significativas entre las poblaciones.

En el estudio realizado por De María Richieri et al. (1979), el número promedio de días desde la siembra hasta la floración masculina para las 859 poblaciones analizadas fue de 77.6, mientras que, para la floración femenina fue de 82.9. Además, se registró una desviación estándar de 5.8 para la floración masculina y de 7.5 para la floración femenina.

Según estos datos, las poblaciones analizadas en este trabajo tuvieron un ciclo más largo tanto considerando los días hasta la floración masculina como la floración femenina.

La sincronización entre la floración masculina (antesis) y la femenina (emergencia de estigmas) es clave para determinar el éxito de la polinización y el rendimiento en las poblaciones de maíz. Este fenómeno, conocido como el *Anthesis-Silking Interval* (ASI), es un factor crucial, ya que cuanto más cercano sea el tiempo entre ambas fases (idealmente entre cero y dos días), mayor será la probabilidad de una polinización efectiva y un buen desarrollo de los granos (Cárcova et al., 2000, como se cita en Andrade et al., 2023). Sin embargo, cuando este intervalo se alarga más allá de los cuatro o cinco días, debido a factores como el estrés hídrico, la polinización se ve comprometida.

En los meses de enero y febrero de 2023, se registraron precipitaciones de 6 mm y 60 mm respectivamente, y en el mes de marzo el primer evento de lluvias se registró el día 15, según los datos proporcionados por la estación meteorológica del CRS.

Teniendo en cuenta que la antesis y la emergencia de los estigmas ocurrieron alrededor del 8 y el 15 de febrero respectivamente, es probable que el estrés hídrico durante este periodo haya afectado la sincronización de las floraciones, alargando el ASI (Andrade et al., 2023, p. 56), ya que la falta de agua genera una restricción del crecimiento.

El déficit hídrico en el periodo crítico, que abarca desde una semana antes hasta tres semanas después de la floración, es un factor determinante que pudo haber contribuido al alargamiento del ciclo de floración y a la disminución en la eficiencia de polinización.

La variedad 11 fue la que presentó una mayor asincronía entre la floración masculina y femenina, con nueve días de diferencia entre una y otra, mientras que, las variedades 5, 12, 13 y 15 fueron las que presentaron menor asincronía con cinco días entre ambas floraciones. Esto podría ser un indicio de una menor susceptibilidad al déficit hídrico por parte de estas variedades. El maíz Blanco Cangüé en estudios previos (zafra 2009/2010) reportó 73 días promedio de ciclo a floración (INIA & INASE, 2010), y, 76 días según resultados de la evaluación nacional de cultivares (INIA & INASE, 2013), mientras que, en este experimento transcurrieron 97 días desde la siembra hasta la floración masculina y 104 días hasta la floración femenina. Estas diferencias pueden deberse a las condiciones ambientales como el déficit hídrico.

4.8. Humedad

El contenido de humedad observado varió entre 13.2 % y 9 %. La población en la cual se observó el menor contenido de humedad corresponde a la variedad 13, mientras que, la población que presentó mayor contenido de humedad en grano corresponde a la variedad 14.

El contenido de humedad promedio por población se encontró entre 12.6 % y 9.7 %, con un desvío estándar dentro de cada población que estuvo entre 1.6 % y 0.4 %.

En la tabla 15 se describe en detalle el porcentaje de humedad.

Tabla 15

Porcentaje de humedad

Variedad	Promedio	Máximo	Mínimo	Varianza	Desvío estándar
14	12.6	13.2	12.3	0.3	0.5
11	12.1	12.8	11.4	0.5	0.7
5	12.0	12.3	11.6	0.1	0.4
1	11.9	12.8	11	0.8	0.9
9	11.8	13.3	10.2	2.4	1.6
10	11.4	12.9	10.7	1.6	1.3
6	11.4	11.9	10.4	0.8	0.9
15	11.3	12.5	10.6	1.0	1.0
8	11.1	12	10.1	0.9	1.0
2	11.0	11.6	10	0.8	0.9
4	10.8	12	9.6	1.4	1.2
12	10.8	12	10.2	1.1	1.0
3	10.7	11.5	10.1	0.5	0.7
7	10.4	10.8	10	0.2	0.4
13	9.7	10.7	9	0.8	0.9
Total general	11.3	13.3	9	1.1	1.1

El test de normalidad Shapiro - Wilk dio como resultado: $W = 0.974$ y $p\text{-value} = 0.413$.

Los datos se distribuyen normalmente y no hay diferencia significativa entre las poblaciones (ver anexo H Tabla H1).

Este resultado podría estar relacionado con el método de medición de la humedad, ya que, en este experimento, las espigas fueron secadas durante varios días en una estufa a temperatura controlada, antes de realizar la medición. Este proceso pudo haber homogeneizado el contenido de humedad en los granos, reduciendo las diferencias que

podrían haberse observado si la medición se hubiera realizado inmediatamente después de la cosecha.

Este enfoque es distinto al empleado en estudios como el de De María Richieri et al. (1979), donde la humedad se midió al momento de la cosecha, sin un proceso de secado previo.

4.9. Peso de espigas

El peso de las espigas observado por población varió entre 387.5 y 1464.6 gramos por parcela, lo que equivale a 516.6 kg.ha⁻¹ y 1952.8 kg.ha⁻¹ respectivamente. La población en la cual se observó el menor peso de las espigas corresponde a la variedad 14, mientras que, la población que presentó mayor peso de espigas corresponde a la variedad 3.

El peso promedio por población se encontró entre 514.2 y 1202.1 gramos por parcela (685.6 kg.ha⁻¹ y 1602.8 kg.ha⁻¹), también en las poblaciones 14 y 3, respectivamente.

El peso promedio de una espiga se encontró entre 61.2 g en la variedad 11 y 118.3 g en la variedad 6.

Se observa los promedios de peso de las espigas de las diferentes poblaciones en la tabla 16.

Tabla 16

Peso de espigas

Variedad	PE promedio (g)	Rend. medio por parcela (g)	Rend. Máx. por parcela (g)	Rend. Min. por parcela (g)	Varianza	Desvío estandar
3	84.3	1202.1	1464.6	1061.3	51755.5	227.5
4	104.7	1182.6	1252.6	1043.4	14532.1	120.5
10	116.3	1084.5	1256.0	766.5	75967.7	275.6
6	118.3	1056.5	1379.6	733.8	104265.2	322.9
2	78.0	1047.2	1076.2	1028.3	650.6	25.5
12	99.1	1045.1	1447.7	752.1	129968.4	360.5
15	71.9	945.1	1176.5	790.9	41639.0	204.1
8	84.2	786.0	1229.5	461.4	158087.7	397.6
1	91.0	759.1	913.3	484.1	56993.5	238.7
5	101.7	728.4	802.4	685.7	4140.5	64.3
9	67.8	667.3	735.0	537.9	12571.8	112.1
7	108.1	647.5	892.1	431.4	53674.8	231.7
11	61.2	632.5	731.1	555.6	8045.4	89.7
13	70.1	571.5	644.2	496.1	5492.0	74.1
14	94.5	514.2	694.3	387.5	25664.0	160.2
Total general	91.1	858.0	1464.6	387.5	85370.3	292.2

El test de normalidad Shapiro - Wilk dio como resultado: $W = 0.95801$ y $p\text{-valor} = 0.1025$.

Los datos se distribuyen normalmente y hay diferencia significativa entre las poblaciones y entre al menos uno de los bloques según ANOVA (ver anexo I Tabla I1).

Las condiciones de los bloques pudieron haber influido en el rendimiento de las poblaciones. En consecuencia, algunas poblaciones con potencial para producir espigas de mayor peso podrían haberse visto afectadas negativamente por el efecto bloque.

Al realizar la comparación de las medias para la característica peso de las espigas las poblaciones 3 y 4 tienen un mayor rendimiento promedio que las variedades criollas 13 y 14, con 95 % de confianza. La tabla 17 demuestra las diferencias en las medidas de las poblaciones.

Tabla 17

Diferencias entre las medidas de las poblaciones para peso de espiga

Variedad	Media	Intervalo de confianza	
		Límite inferior	Límite superior
3	1202 a	968	1437
4	1183 a	948	1417
10	1084 ab	850	1319
6	1057 ab	822	1291
2	1047 ab	813	1282
12	1045 ab	811	1280
15	945 ab	711	1180
8	786 ab	552	1021
1	759 ab	525	994
5	728 ab	494	963
9	667 ab	433	902
7	647 ab	413	882
11	632 ab	398	867
13	572 b	337	806
14	514 b	280	749

Nota. Ajuste del valor p : método de Tukey para comparar una familia de 15 estimaciones. Nivel de significancia utilizado: $\alpha = 0.05$. Si dos o más medias comparten el mismo

símbolo de agrupación, entonces no podemos demostrar que son diferentes. Pero tampoco demostramos que son iguales.

Las poblaciones 3 y 4 podrían tener una mayor capacidad genética para el desarrollo de espigas de mayor tamaño, lo que resulta en un peso significativamente mayor en comparación con las variedades 13 y 14. Esta variabilidad genética es común en las variedades criollas, que suelen mantener una amplia diversidad genética debido a su proceso de selección natural y adaptación a condiciones locales. Si analizamos los pesos promedio de cada espiga observamos que el promedio general para las 15 poblaciones fue de 91.1 g por espiga. Estudios realizados en México y Brasil reportan pesos de espigas de 180 g (Arellano Vázquez et al., 2011), y 276.1 g para el peso de espiga con hoja según De Oliveira et al. (1987). Estas diferencias pueden atribuirse tanto a factores genéticos como ambientales.

4.10. Peso de grano

El peso de granos observado por población varió entre 285.8 gramos por parcela y 1171.6 gramos por parcela, lo que corresponde a 381 kg.ha⁻¹ y 1562.2 kg.ha⁻¹. La población en la que se observó el menor peso de granos corresponde a la variedad 14, mientras que, la población que presentó mayor peso de granos corresponde a la variedad 3.

El promedio por población se encontró entre 373.9 gramos por parcela y 980.8 gramos por parcela (1307.8 kg.ha⁻¹). La tabla 18 que sigue a continuación muestra el peso de grano de cada variedad.

Tabla 18*Peso de grano*

Variedad	Rend. medio por parcela (g)	Rend. Máx. por parcela (g)	Rend. Min. por parcela (g)	Varianza	Desvío estandar
3	980.8	1171.6	884.4	27304.2	165.2
4	917.6	1004.2	783.4	13893.2	117.9
6	856.0	1126.2	580.7	74414.5	272.8
10	846.1	970.7	602.8	44417.4	210.8
2	832.4	853.9	808.7	512.9	22.6
12	805.1	1125.6	581.7	81022.6	284.6
15	752.9	948.9	603.7	31423.6	177.3
8	635.1	994.0	345.1	108855.7	329.9
5	578.5	622.7	537.7	1814.7	42.6
1	570.8	705.1	353.5	36061.5	189.9
9	510.5	565.7	437.0	4389.7	66.3
11	493.9	572.4	439.9	4839.9	69.6
7	477.4	697.5	342.2	36958.2	192.2
13	459.8	513.6	394.4	3652.4	60.4
14	373.9	492.3	285.8	11351.7	106.5
Total general	672.7	1171.6	285.8	57295.6	239.4

El test de normalidad Shapiro - Wilk dio como resultado: $W = 0.95524$ y $p\text{-valor} = 0.08035$.

Los datos se distribuyen normalmente y hay diferencia significativa entre las poblaciones (ver anexos).

Al realizar la comparación de las medias de rendimiento en grano de las poblaciones se puede observar que la variedad 3 tiene un mayor rendimiento promedio que la variedad 14, 13 y 7 con 95 % de confianza, a su vez, la variedad 4 presenta mayor rendimiento que la variedad 14 con 95 % de confianza.

La tabla 19 demuestra las diferencias en las medias en las poblaciones.

Tabla 19

Diferencias entre las medias de las poblaciones para peso de granos

Variedad	Media	Intervalo de confianza	
		Límite inferior	Límite superior
3	981 a	788	1174
4	918 ab	724	1111
6	856 abc	663	1049
10	846 abc	653	1039
2	832 abc	639	1026
12	805 abc	612	998
15	753 abc	560	946
8	635 abc	442	828
5	578 abc	385	772
1	571 abc	378	764
9	510 abc	317	704
11	494 abc	301	687
7	477 bc	284	671
13	460 bc	267	653
14	374 c	181	576

Nota. Ajuste del valor p: método de Tukey para comparar una familia de 15 estimaciones. Nivel de significancia utilizado: alfa = 0.05. Si dos o más medias comparten el mismo símbolo de agrupación, entonces no podemos demostrar que son diferentes. Pero tampoco demostramos que son iguales.

Si comparamos estos resultados con De María Richieri et al. (1979), donde el peso promedio para las 859 poblaciones fue de 2.956.5 kg/ha⁻¹ con una desviación estándar de 1.223.7 kg/ha⁻¹, podemos observar algunas diferencias. Este dato fue obtenido con un contenido de humedad en el grano de 15.5 %. Al ajustar este valor a un 14 % de humedad para poder compararlo con el promedio de las quince poblaciones estudiadas en este trabajo, obtenemos un valor de 2904.9 kg/ha⁻¹. Este valor es significativamente mayor al rendimiento obtenido en este trabajo, que fue de 897 kg/ha⁻¹ con una desviación estándar de 315.6 kg/ha⁻¹.

En cuanto a las variedades criollas que presentan colectas de diferentes años como Palha Roxa y Blanco Estévez, no se encontraron diferencias significativas entre ellas por lo que se puede decir que se mantuvieron estables a lo largo del tiempo.

La variedad 3 (PS-EEMAC), que fue la que presentó mayor rendimiento de grano en $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, corresponde a una población de selección, comparándola con las poblaciones que presentaron menor rendimiento vemos que estas corresponden a una variedad criolla. Esto puede deberse a la mayor selección hacia esa característica de la variedad 3.

Andrade y Gardiol (1995, como se cita en Callero Daruich, 2014), afirman que el déficit hídrico puede causar reducciones en el rendimiento, en cualquier momento del ciclo del cultivo. Las reducciones en el rendimiento no solo dependen de la severidad del déficit hídrico, sino también del momento en que este ocurre dentro del ciclo de desarrollo del maíz, por ejemplo, si las deficiencias ocurren en torno a la floración la pérdida en la producción puede ser cercana al 50 %, por lo que sugieren que durante el periodo comprendido entre V13 y R3 no debería sufrir déficit hídrico (Andrade et al., 1996, como se cita en Callero Daruich, 2014), para no afectar el número de granos. De igual modo señalan que durante el llenado de los granos (R3-R6), tampoco deberían ocurrir deficiencias, ya que en esta etapa las pérdidas en rendimiento oscilan entre un 20 % y 40 %.

Según describe el Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP) en el Anuario OPYPA, en la zafra 2022/2023 se evidenció una disminución en la producción nacional, que se atribuye al déficit hídrico que afectó a la región. En este periodo la producción registró una reducción de doce millones de toneladas, en comparación con la zafra anterior (Pizzanelli, 2023).

Los rendimientos observados en este experimento no fueron la excepción, y también fueron afectados por el déficit hídrico.

4.11. Correlaciones entre variables

Se estimaron las correlaciones entre las siguientes variables: Número de espigas (NE), Peso de espigas (PE), Peso de granos (PG), Humedad (H), Diámetro de tallo (DT), Altura de planta (AP), Altura de la espiga (AE), Floración femenina (FF) y Floración Masculina (FM). 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) (Ramos Olivera, 2024, p. 43).

Las correlaciones fuertes fueron sombreadas con rojo y las moderadas con amarillo, como se muestra en la tabla 20. Se puede observar una fuerte correlación entre el peso de los granos con el peso de las espigas, entre los días desde la siembra a la floración femenina y floración masculina, y entre la altura de la planta y la altura de la espiga.

Tabla 20

Coefficientes de correlación entre variables

NE								0.311
PE							0.659	0.676
PG					0.994		0.639	0.679
H				0.031	0.048		-0.199	-0.066
DT			0.392	0.335	0.345		0.011	0.241
AP		0.268	0.022	0.718	0.726		0.332	0.960
FF	0.105	0.078	0.080	-0.100	-0.092		-0.323	0.023
FM	0.956	-0.016	0.069	0.014	-0.131	-0.125	-0.321	-0.097
	FF	AP	DT	H	PG	PE	NE	AE

El análisis de correlaciones destaca relaciones significativas entre diversas características que pueden facilitar la selección indirecta en programas de mejora genética. Las correlaciones altas revelan que seleccionar una característica puede simultáneamente influir en otra, lo que optimiza el proceso de selección.

Peso de espiga (PE) y Peso de grano (PG) presentan una correlación muy fuerte de 0.994. Esto indica que, al seleccionar por un mayor peso de espiga, también se está seleccionando indirectamente por un mayor rendimiento en peso de grano.

La correlación de 0.960 entre altura de planta (AP) y la altura de la espiga (AE) implica que estas dos variables están fuertemente conectadas. Por lo tanto, la selección por una mayor altura de planta también impactará en la altura de la espiga.

Finalmente, las fases de floración masculina (FM) y floración femenina (FF) tienen una correlación de 0.956, sugiriendo que las estrategias de selección que aborden las

características de floración masculina también afectarán a las femeninas. Esta conexión puede ser importante para sincronizar la floración y maximizar la eficiencia de polinización.

4.12. Análisis de componentes principales (CP)

Este método transforma las variables originales en un nuevo conjunto de variables, conocidas como componentes principales, que son combinaciones lineales de las variables iniciales. Los primeros componentes principales retienen la mayor cantidad de varianza, lo que permite identificar patrones en los datos, así como relaciones entre las variables y las observaciones, en este caso se identificaron 10 componentes principales, pero solo los primeros dos acumulan el 65.46 % de la varianza. El CP1 explica el 44.1 % de la varianza total y el CP2 explica el 21.36 %, mientras que el CP3 explica 13,84 %.

Las cargas de cada variable en los componentes principales nos muestran qué variables contribuyen más a cada componente. En el caso del CP1 las variables con las cargas más altas son: peso de espigas 0.433, peso de granos 0.433, altura de planta 0.425 y altura de espiga 0.429, lo que indica que es un componente que captura característica de rendimiento.

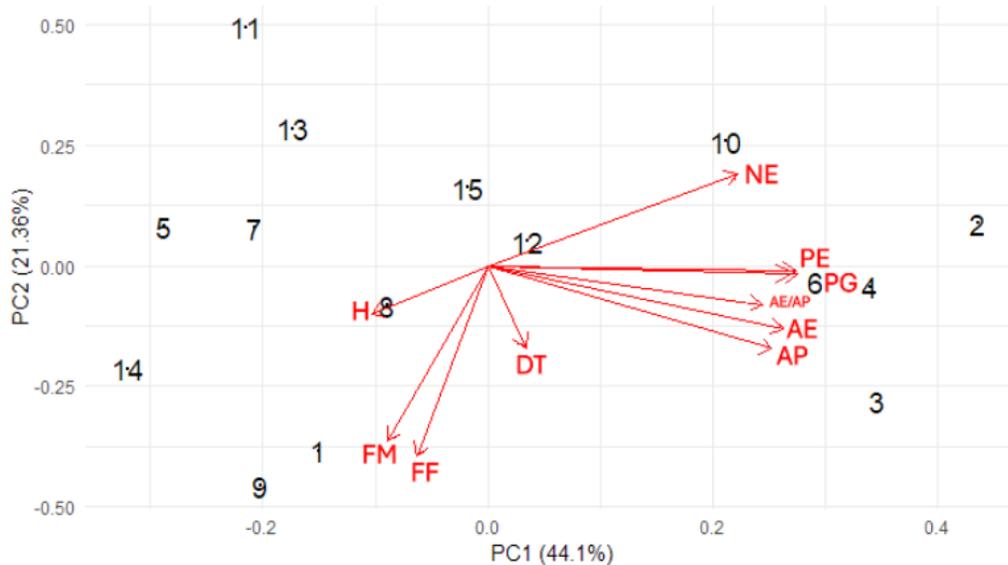
Mientras tanto, en el CP2 las cargas más significativas son las variables Días a floración masculina (0.616) y Días a floración femenina (0.644). Esto sugiere que el segundo componente está más relacionado con la duración del ciclo.

La mayoría de la variabilidad en los datos está capturada por los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2). Al enfocarnos solo en estos componentes, es posible resumir una gran parte de la información original del conjunto de datos, facilitando así el análisis. Este proceso de reducción de dimensionalidad permite describir los datos utilizando menos variables sin perder información significativa, lo que simplifica tanto el análisis como la visualización.

En lugar de trabajar con las 10 variables, podemos enfocarnos en solo unas pocas que aún reflejan bien el comportamiento de los datos. En la figura 3 podemos observar cómo las variables que presentan ángulos más agudos entre sus vectores tienen mayor correlación, mientras que, las que forman ángulos mayores presentan menor correlación.

Figura 3

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



Si dividimos la figura 3 en cuatro cuadrantes, trazando una línea vertical en $x=0$ y una línea horizontal en $y=0$ podemos observar que las variedades que quedan mayormente comprendidas en el cuadrante inferior derecho son: 3 (PS-EEMAC), 4 (Diente de Caballo) y 6 (Ocho Carreras). Estas poblaciones se caracterizan por presentar plantas altas, de buen rendimiento y ciclo largo; mientras que en la esquina superior derecha encontramos la población 2 (PS-CRS) y la 10 (Blanco Estévez 2017), que muestran atributos similares a las anteriores, pero de ciclo más corto.

El resto de las poblaciones se ubicaron mayormente en el lado izquierdo, fueron las variedades criollas 11 (Maíz Común), 13 (Catete), 5 (Alazán) y 7 (Morocho) las que se ubicaron en el cuadrante superior, presentando un ciclo corto y un bajo rendimiento.

Mientras tanto, en el cuadrante inferior izquierdo se ubican mayormente las poblaciones: 9 (Palha Roxa 2017), 1 (Rubí), 14 (Palha Roxa 2022) y 8 (Blanco Cangüé), caracterizándose por un ciclo largo y un bajo rendimiento.

Las poblaciones 12 (Blanco González) y 15 (Blanco Estévez 2022) se ubicaron en el centro del gráfico, lo que muestra un comportamiento medio para todas las variables.

Si comparamos las poblaciones PS-CRS y PS-EEMAC con la VPA Blanco Cangüé, observamos que estas primeras tuvieron mejores rendimientos, lo cual tiene sentido, ya que estas son una selección de Blanco Cangüé.

En cuanto a las variedades criollas que fueron colectas de diferentes años como Palha Roxa y Blanco Estévez se puede observar que la primera se ubicó siempre en el mismo cuadrante manteniéndose estable, mientras que Blanco Estévez 2017 tuvo un comportamiento superior en términos de rendimiento que la colecta de 2022, ambas mostrando ciclo corto.

5. Conclusiones

El presente estudio evaluó el rendimiento y las características agronómicas de 15 poblaciones de maíz, incluyendo variedades criollas, poblaciones de selección y variedades de polinización abierta.

El experimento se desarrolló en un año en que las condiciones hídricas fueron deficitarias para los requerimientos del maíz.

Los resultados mostraron diferencias significativas para algunas de las variables analizadas como: «Color de grano», «Altura de planta», «Número de espigas por planta», «Altura de espiga», «Relación entre altura de la espiga y altura de planta», «Días a Floración», «Peso de espigas» y «Peso de granos».

Respecto al color del grano, los colores observados fueron blanco, amarillo, naranja y colorado, notándose una predominancia de poblaciones de color de grano blanco.

La altura de planta promedio varió en el rango de 98 cm y 160 cm, donde la variedad Catete presentó la menor altura de planta y la variedad PS-CRS, mostró la mayor altura de planta. La altura de mazorca promedio por población varió en el rango de 40 cm y 88 cm, donde la variedad Alazán presentó el menor promedio altura de espiga y la variedad PS-CRS mostró la mayor altura mazorca promedio.

La relación altura de la espiga / altura de la planta varió en el rango de 0,17 y 0,67, donde la variedad Alazán presentó la menor relación entre estas variables y la variedad PS-CRS mostró la mayor relación entre las variables mencionadas.

Los días desde la siembra a floración masculina variaron desde 85 días en el maíz común hasta 99 días en Rubí y Palha Roxa mientras que, en floración femenina variaron entre 94 y 106, el maíz común fue la variedad más temprana y las variedades Rubí y Palha Roxa, las más tardías.

El peso de grano promedio por población se encontró entre 514.2 y 1202.1 gramos por parcela, lo que equivale a 1602.8 kg.ha⁻¹ en las poblaciones 14 (Palha Roxa) y 3 (PS-EEMAC), respectivamente. Estas diferencias fueron significativas.

En cuanto a la característica Peso de grano, la variedad que presentó mayor rendimiento fue la variedad PS-EEMAC, con una producción promedio de 1307,8 kg.ha⁻¹, y fue significativamente mejor que las variedades Palha Roxa, Catete y Morocho.

En resumen, este estudio permitió identificar diferencias significativas en el rendimiento y las características agronómicas de las 15 poblaciones de maíz evaluadas, destacándose la variedad PS-EEMAC por su mayor rendimiento en peso de espigas, y la variedad PS-CRS por su altura.

A partir de los resultados obtenidos, podríamos considerar repetir el experimento en años con condiciones hídricas normales, a fin de evaluar el comportamiento de las poblaciones en un ambiente más favorable. Asimismo, sería conveniente mejorar el registro del período desde la siembra hasta la floración, utilizando mediciones más frecuentes y precisas. Otra línea de trabajo a desarrollar es la evaluación de la humedad del grano inmediatamente después de la cosecha, lo que permitiría identificar posibles diferencias entre poblaciones en esta variable de interés agronómico y comercial.

Las diferencias observadas entre las variedades criollas y poblaciones de selección evidencian la diversidad que existe dentro de la especie, resalta la importancia de la conservación de variedades criollas que hacen los productores familiares, su valor para mejoramiento genético y su adaptación a condiciones climáticas adversas para sistemas más resilientes.

6. 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/bitstream/20.500.12008/9671/1/3787ale.pdf>

Andrade, F. H., Otegui, M. E., Cirilo, A., & Uhart, S. (2023). *Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz*. En F. H. Andrade, M. E. Otegui, A. Cirilo & S. Uhart (Eds.), *Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz*. MAIZAR.

https://www.maizar.org.ar/documentos/cultivo%20de%20maiz_version%20digital.pdf

Arellano Vázquez, J. L., Vargas, J. V., Rojas Martínez, I., & Ávila Perches, M. A. (2011). Híbrido de maíz de alto rendimiento para temporal y riego del altiplano central de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(4), 619-626.

<https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v2n4/v2n4a15.pdf>

Bancharo, M. (2018). *Evaluación de la interacción genotipo por ambiente para características de calidad nutricional en maíz para silo* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.

<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/31389/1/BancharoSiriMaril%c3%adn.pdf>

Çakir, R. (2004). Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*, 89(1), 1-16.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2004.01.005>

Callero Daruich, W. H. (2014). *Maíz, efecto de las deficiencias hídricas sobre el rendimiento* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri.

<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/8745/1/3939cal.pdf>

Capehart, T., & Proper, S. (2019). *Corn is America's Largest Crop in 2019*. USDA.

<https://www.usda.gov/media/blog/2019/07/29/corn-americas-largest-crop-2019>

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. (2012). *Manual de determinación de rendimiento*. <https://repository.cimmyt.org/server/api/core/bitstreams/3c50e668-ebe9-42d2-b6ca-651ba7ca492e/content>

- Costa, F. M., De Almeida Silva, N. C., Vidal, R., & Veasey, E. A. (2020). Origen, domesticación y dispersión del maíz en las Américas. En N. C. De Almeida Silva, F. M. Costa, R. Vidal, & E. A. Veasey (Orgs.), *Maíces de las tierras bajas de América del Sur y conservación de la agrobiodiversidad en Brasil y Uruguay* (pp. 1-24). Atena.
- Cuitiño, M., J., & Cardozo, V. (2018). Maíz: Clasificación y usos potenciales. *Revista INIA*, (54), 32-35. <https://inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/revista-INIA-54-setiembre-2018.pdf>
- De Almeida Silva, N. C., Costa, F. M., Vidal, R., & Veasey, E. A. (2020). Distribución y diversidad de maíz de Brasil y Uruguay. En N. C. De Almeida Silva, F. M. Costa, R. Vidal, & E. A. Veasey (Orgs.), *Maíces de las tierras bajas de América del Sur y conservación de la agrobiodiversidad en Brasil y Uruguay* (pp. 57-86). Atena.
- De María Richieri, F., Fernández Childs, G. M., & Zoppolo Goldschmidt, J. C. (1979). *Caracterización agronómica y clasificación racial de las muestras de maíz coleccionadas en Uruguay bajo el proyecto I. B. P. G. R (International Board for Plant Genetic Resources) Facultad de Agronomía* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/24539>
- De Oliveira, L. A. A., Groszman, A., & Alves Da Costa, R. (1987). Caracteres da espiga de cultivares de milho no estágio verde. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 22(6), 587-592. <https://apct.sede.embrapa.br/pab/article/view/14395/8290>
- Djaman, K., Allen, S., Djaman, D. S., Koudahe, K., Irmak, S., Puppala, N., Darapuneni, M. K., & Angadi, S. V. (2022). Planting date and plant density effects on maize growth, yield and water use efficiency. *Environmental Challenges*, 6, Artículo e100417. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100417>
- Giménez, L. (2012). Producción de maíz con estrés hídrico provocado en diferentes etapas de desarrollo. *Agrociencia (Uruguay)*, 16(2), 92-102. <https://doi.org/10.31285/AGRO.17.544>

- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria & Instituto Nacional de Semillas. (2010). *Resultados experimentales de la evaluación nacional del cultivares de maíz para granos y maíz para silos: Periodo 2009*.
https://www.inia.org.uy/convenio_inase_inia/Evaluacion_CV/Ano2009/PubMaizGranoySilo2009.pdf
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria & Instituto Nacional de Semillas. (2013). *Resultados experimentales de la evaluación nacional de cultivares de maíz para grano y maíz para silo: Periodo 2012*.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/11376/1/PubMaizGranoySilo2012.pdf>
- Instituto Nacional de Semillas (2014). Res.: N.º 158/014.
<https://www.inase.uy/Normativa/Resoluciones/158.pdf>
- International Board for Plant Genetic Resources. (1991). *Descriptors for maize*.
<https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/afe74e02-40fb-4643-8960-bbd42c9a07cf/content>
- Kato, T. Á., Mapes, C., Mera, L. M., Serratos, J. A., & Bye, R. A. (2009). *Origen y diversificación del maíz: Una revisión analítica*. UNAM.
https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/versiones_digitaes/Origen_deMaiz.pdf
- Latham, R. (1936). *La agricultura precolombina en Chile y los países vecinos*. Biblioteca Digital de la Universidad de Chile.
- Ley n.º 16.811: *Declaración de Interés Nacional: Ley de Semillas*. (1997). IMPO.
<https://www.impo.com.uy/bases/leyes/16811-1997>
- Li, T., Dong, Y., Zhang, J., Feng, Z., Wang, Y., Hao, Y., Zhang, X., Xue, J., & Xu, S. (2022). Genome-wide association study of ear-related traits in maize hybrids. *Scientia Agricultura Sinica*, 55(13), 2485-2499. <https://doi.org/10.3864/j.issn.0578-1752.2022.13.001>
- Maxted, N., Magos Brehm, J., & Kell, S. (2013). *Resource book for the preparation of national plans for conservation of crop wild relatives and landraces*. University of Birmingham. https://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/PGR/Pu bPGR/ResourceBook/TEXT_ALL_2511.pdf

- Methol, M. (2021). Maíz y sorgo: Situación y perspectiva. En *Anuario OPYPA 2021* (pp. 193-207). MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2021/analisis-sectorial-cadenas-productivas/maiz-sorgo>
- Methol, M., & Pizzanelli, M. (2022). Maíz y sorgo: Situación y perspectivas. En *Anuario OPYPA 2022* (pp. 236-255). MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/book/16089/download>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (1993). *El maíz en la nutrición humana*. <https://www.fao.org/4/t0395s/t0395s02.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2011). *Semillas en emergencias: Manual técnico*. <https://www.fao.org/4/i1816s/i1816s00.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022a). Perspectivas por sectores principales: Producción de cultivos: Cereales: Se necesitan mil millones de toneladas más. En *Agricultura mundial: Hacia los años 2015/2030: Informe resumido* (pp. 32-74). FAO. <https://www.fao.org/4/y3557s/y3557s00.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022b). *Ya se puede consultar el Anuario estadístico de la FAO para 2022*. <https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-s-statistical-yearbook-for-2022-goes-live/es>
- Parco, M. (2014). *Fijación de granos en espigas apicales y sub-apicales en híbridos argentinos de maíz (Zea mays L.) de las últimas cuatro décadas ante cambios en la densidad de siembra y la oferta nutricional* [Disertación doctoral, Universidad de Buenos Aires]. FAUBA Digital. <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/doctorado/2020parcomartin.pdf>
- Peiffer, J. A., Romay, M. C., Gore, M. A., Flint-Garcia, S. A., Zhang, Z., Millard, M. J., Gardner, C. A., McMullen, M. D., Holland, J. B., Bradbury, P.J., & Buckler, E. S. (2014). The genetic architecture of maize height. *Genetics*, 196(4), 1337-1356. <https://doi.org/10.1534/genetics.113.159152>
- Pierre, F., Rodríguez, I. Y., Colbert, R. W., y Rosas, J. C. (2023). Comportamiento agronómico de variedades criollas y mejoradas de maíz en un suelo de baja fertilidad. *Ceiba*, 56(1), 16-30. <https://doi.org/10.5377/ceiba.v56i1.16352>

- Pizzanelli, M. (2023). Maíz y sorgo: Situación y perspectivas. En *Anuario OPYPA 2023*. MGAP. <https://descargas.mgap.gub.uy/OPYPA/Anuarios/Anuarioopypa2023/CP/9/CP9web/CP9Maizysorgo.pdf>
- Ramos Olivera, P. S. (2024). *Selección de maíz para silo mediante familias de medios hermanos de la raza Blanco Dentado* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/48123/1/RamosOliveraPamelaStefani.pdf>
- Rivas, M., Vidal, R., Neitzke, R. S., Priori, D., Almeida, N., Antúnez, 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://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2023.1232589/full>
- Rodríguez-Larramendi, L., Guevara-Hernández, F., Ovando-Cruz, J., Marto-González, J. R., & Ortiz-Pérez, R. (2016). Crecimiento e índice de cosecha de variedades locales de maíz (*Zea mays L.*) en comunidades de la región Frailesca de Chiapas, México. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 137-145. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362016000300015
- Tan, B.-C., Guan, J.-C., Ding, S., Wu, S., Saunders, J. W., Koch, K. E., & McCarty, D. R. (2017). Structure and origin of the *White Cap* locus and its role in evolution of grain color in maize. *Genetics*, 206(1), 135-150. <https://doi.org/10.1534/genetics.116.198911>
- United States Department of Agriculture. (2024). *Grain: World markets and trade: Tighter black sea wheat supplies disrupt global export market*. <https://www.fas.usda.gov/sites/default/files/2024-06/grain.pdf>
- Wang, H., Zhang, W., Yang, G., Lei, L., Han, S., Xu, W., Chen, R., Zhang, Ch., & Yang, H. (2023). Maize ear height and ear–plant height ratio estimation with LiDAR data and vertical leaf area profile. *Remote Sensing*, 15(4), Artículo e964. <https://doi.org/10.3390/rs15040964>
- Zhang, P., Gu, S., Wang, Y., Xu, C., Zhao, Y., Liu, X., Wang, P., & Huang, S. (2023). The relationships between maize (*Zea mays L.*) lodging resistance and yield formation depend on dry matter allocation to ear and stem. *The Crop Journal*, 11(1), 258-268. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2022.04.020>

7. Anexos

Anexo A

Diámetro de tallo

Figura A1

Histograma de datos para diámetro

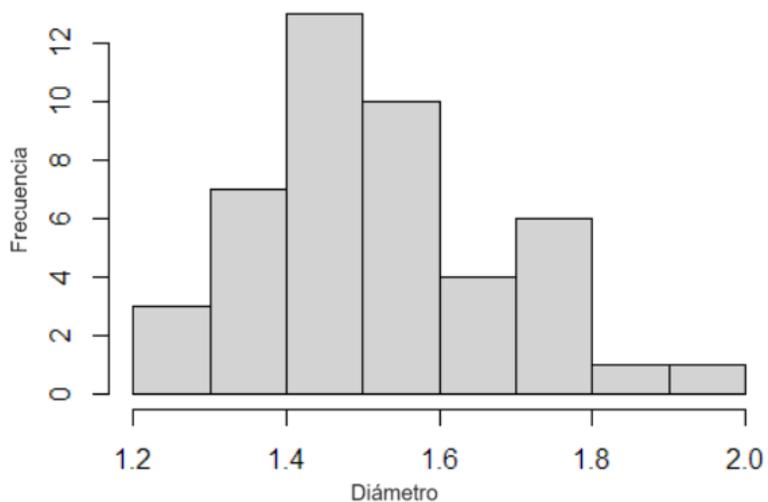


Tabla A1

Análisis de varianza para diámetro

	GI	SC	CM	F valor	Pr(>F)
Bloque	2	0.0974	0.04868	1.720	0.197
Variedad	14	0.0974	0.04868	1.720	0.197
Residuales	28	0.7925	0.0283		

Nota. Código de significancia: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

No hay diferencia significativa entre las variedades.

Anexo B

Altura de planta

Figura B1

Histograma de datos para altura de planta

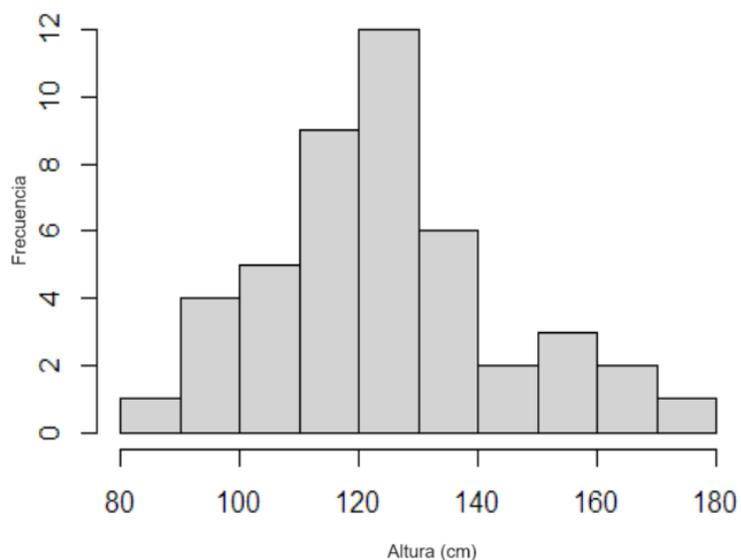


Tabla B1

Análisis de varianza para altura de planta

	GI	SC	CM	F valor	Pr(>F)
Bloque	2	832	416.0	3.014	0.0652
Variedad	14	12839	917.1	6.644	1.14e-05 ***
Residuales	28	3865	138.0		

Nota. Código de significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Hay diferencia significativa entre las variedades.

Anexo C

Número de espigas

Figura C1

Histograma de datos para número de espigas por planta

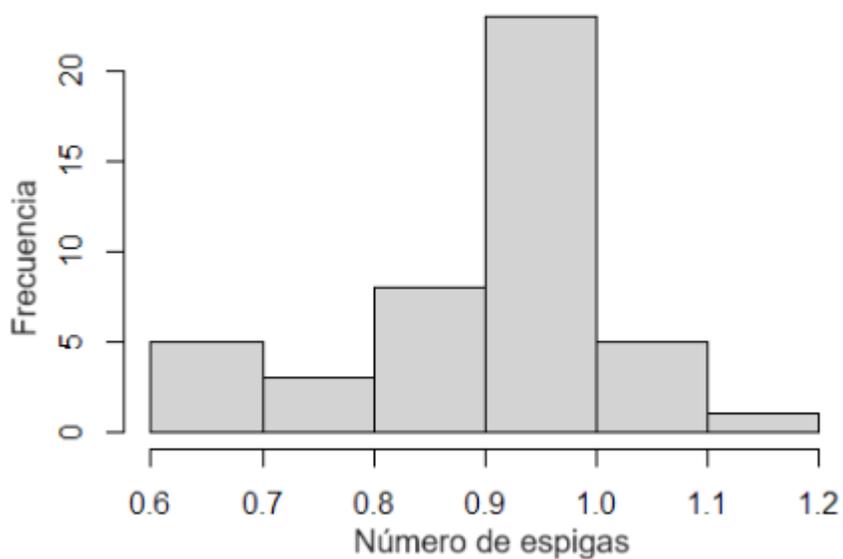


Tabla C1

Análisis de varianza para número de espigas por planta

	Gl	SC	CM	F valor	Pr(>F)
Bloque	2	0.0804	0.04022	3.075	0.0620
Variedad	14	0.4231	0.03022	2.311	0.0288 *
Residuales	28	0.3662	0.01308		

Nota. Código de significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1. Hay diferencias significativas entre las variedades

Anexo D

Altura de espiga

Figura D1

Histograma de datos para altura de espiga

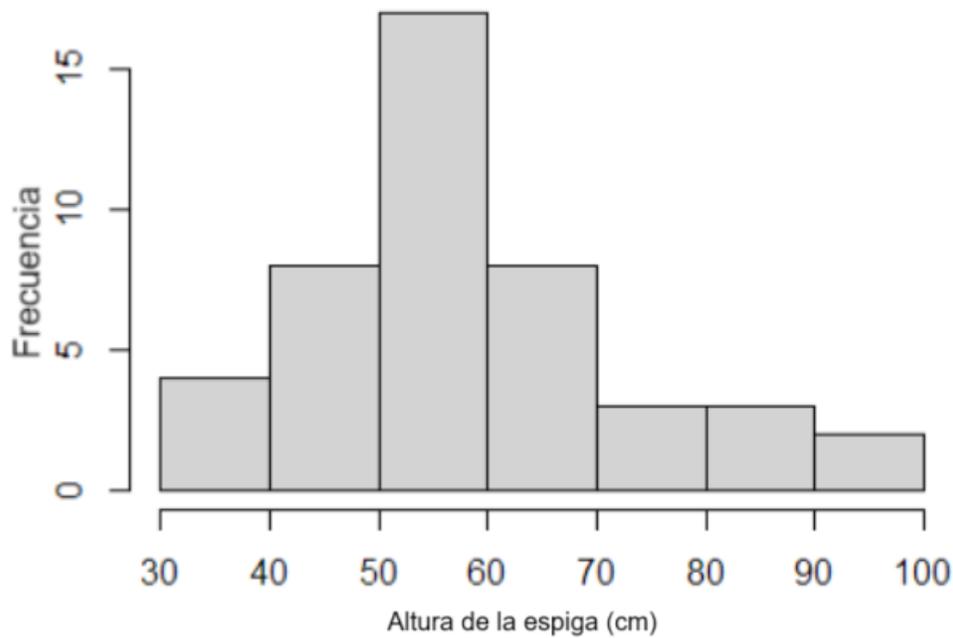


Tabla D1

Análisis de varianza para altura de espiga

	Gl	SC	CM	F valor	Pr(>F)
Bloque	2	402	201.2	1.942	0.162266
Variedad	14	7369	526.4	5.081	0.000128 ***
Residuales	28	2901	103.6		

Nota. Código de significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Hay diferencias significativas entre las variedades.

Anexo E

Relación altura de la espiga / altura de la planta

Figura E1

Histograma de datos; relación altura de la espiga / altura de la planta

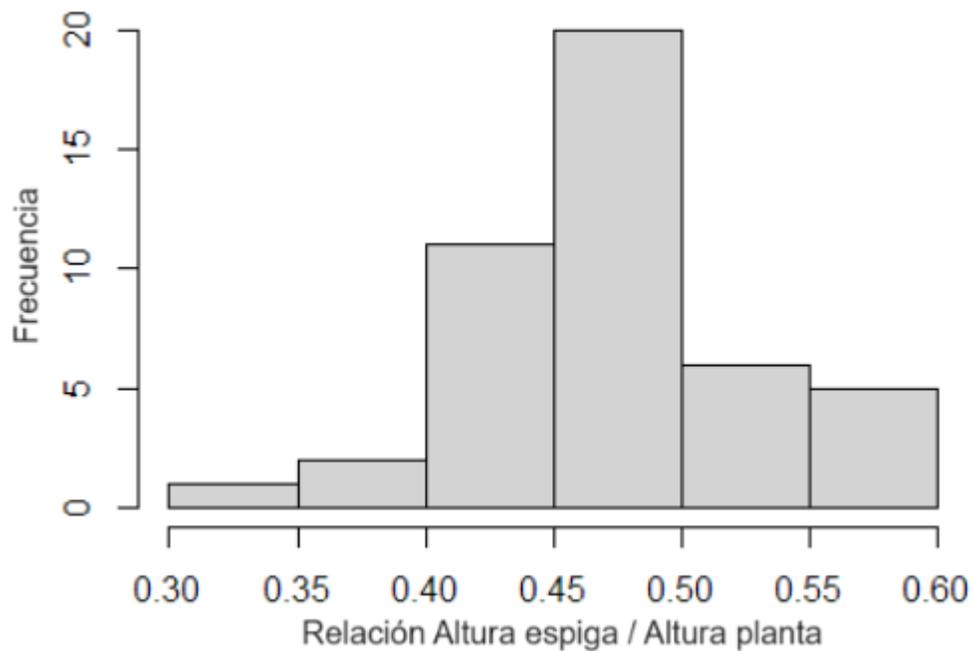


Tabla E1

Análisis de varianza; relación altura de la espiga / altura de la planta

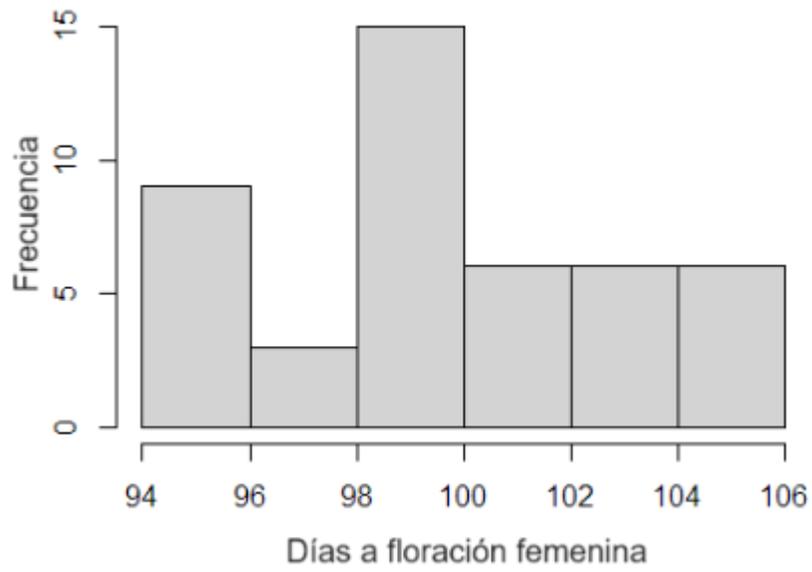
	Gl	SC	CM	F valor	Pr(>F)
Bloque	2	0.00437	0.002183	1.139	0.3347
Variedad	14	0.07314	0.005225	2.725	0.0116 *
Residuales	28	0.05368	0.001917		

Nota. Código de significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Hay diferencias significativas entre las variedades.

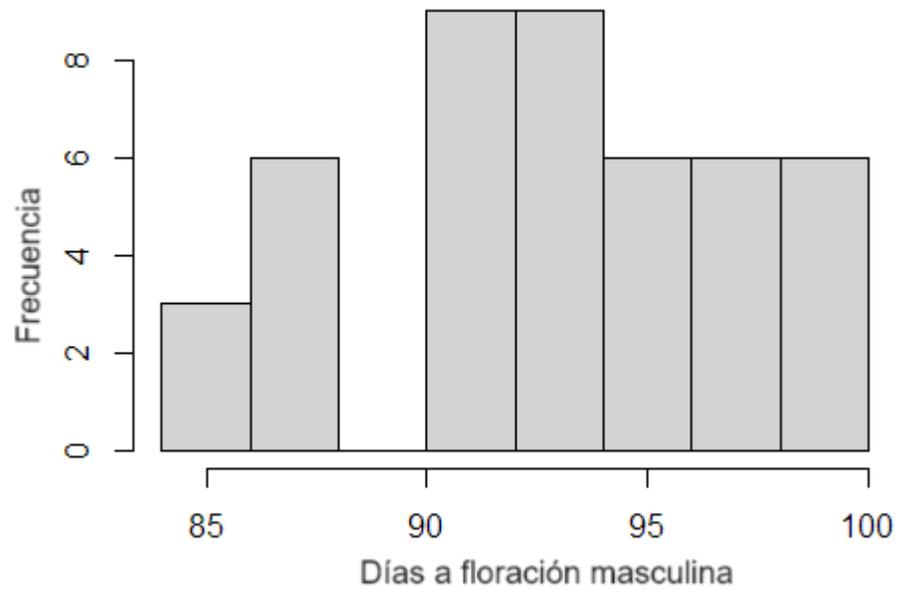
Anexo F

Histograma de datos; días a floración femenina



Anexo G

Histograma de datos; días de floración masculina



Anexo H

Humedad

Figura H1

Histograma de datos para humedad

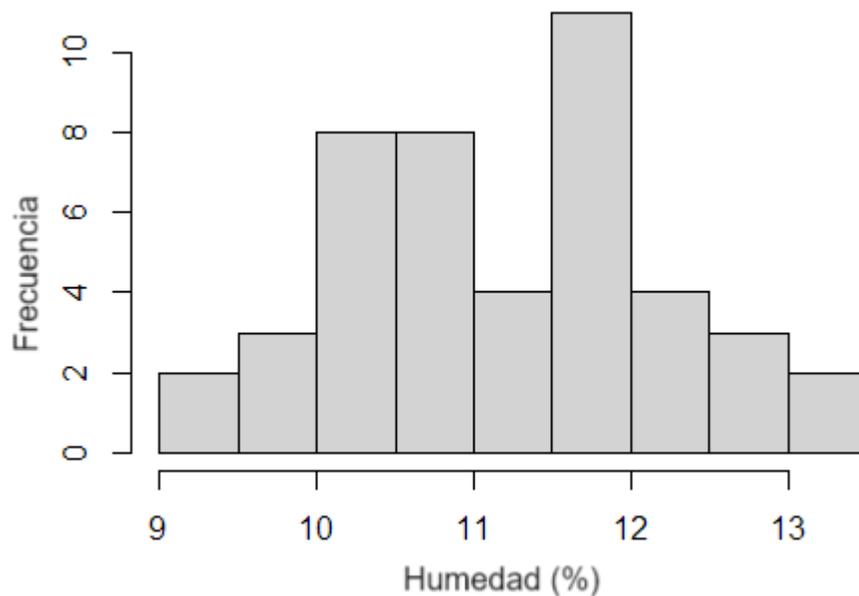


Tabla H1

Análisis de varianza para humedad

	Gl	SC	CM	F valor	Pr(>F)
Bloque	2	2.915	1.4576	1.737	0.1945
Variedad	14	22.863	1.6331	1.946	0.0651
Residuales	28	23.498	0.8392		

Nota. Código de significancia: 0 '****' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1Según el análisis de varianza (ANOVA) realizado, no se encontraron diferencias significativas entre las distintas variedades para esta característica.

Anexo I

Peso de espigas

Figura I1

Histograma de datos; rendimiento de las espigas

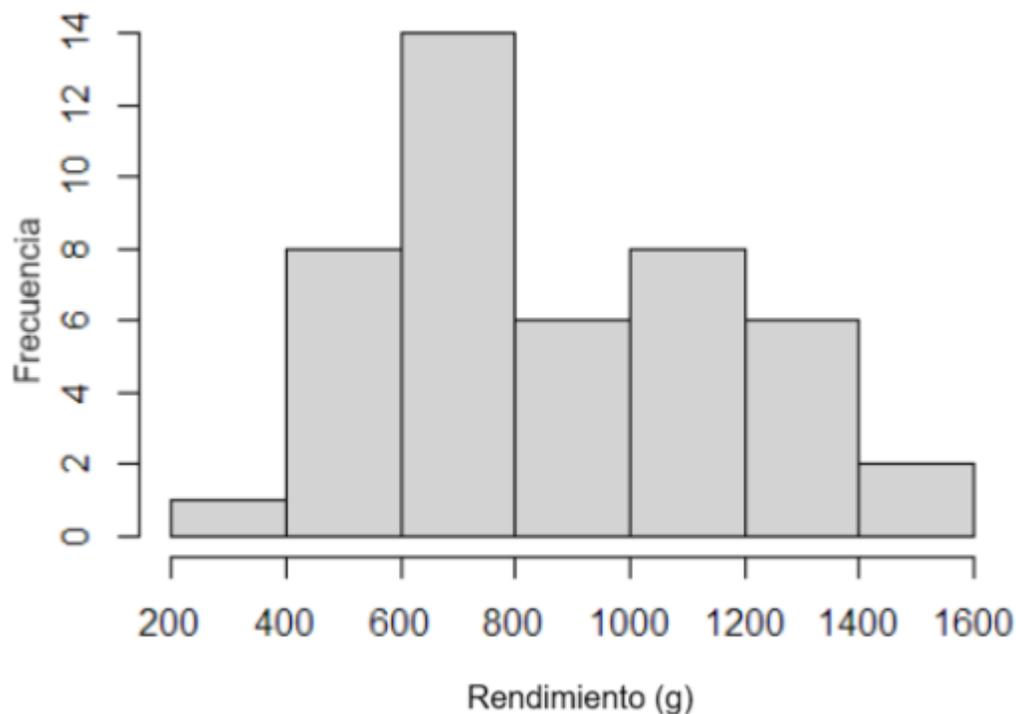


Tabla I1

Análisis de varianza; rendimiento de las espigas

	Gl	SC	CM	F valor	Pr(>F)
Bloque	2	385920	192960	4.907	0.014892 *
Variedad	14	2269397	162100	4.123	0.000698 ***
Residuales	28	1100977	39321		

Nota. Código de significancia: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Tanto las variedades de maíz como los bloques tienen un efecto significativo en el rendimiento del maíz en este experimento.

Anexo J

Peso de granos

Figura J1

Histograma de datos; rendimiento en grano

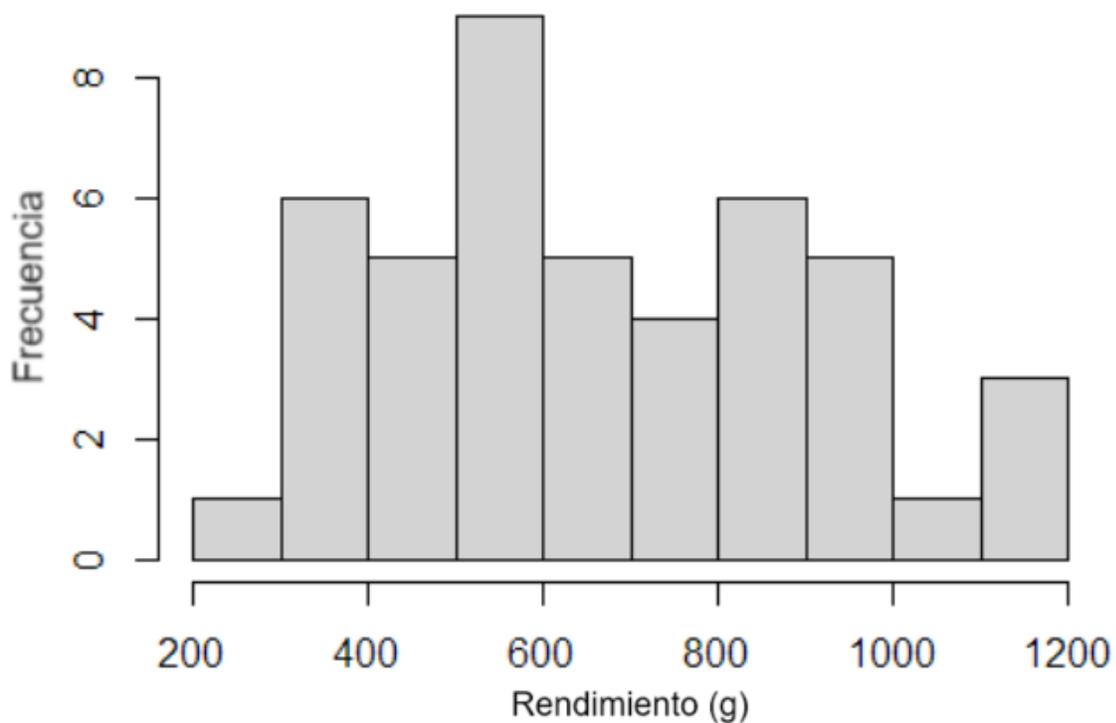


Tabla J1

Análisis de varianza; rendimiento de grano

	Gl	SC	CM	F valor	Pr(>F)
Bloque	2	214473	107.237	4.018	0.029242 *
Variedad	14	1559182	111.370	4.173	0.000636 ***
Residuales	28	747351	26691		

Nota. Hay diferencias significativas entre las variedades y hay un efecto significativo en al menos uno de los bloques.