



***Estudio de la variabilidad genética en razas
nativas de maíz (Zea mays L.) y su potencial
para el mejoramiento del cultivo***



Jorgelina Barcelona

DOCENTE TUTOR: Dra. Ureta, María Soledad

DOCENTES CONSEJEROS: Dr. Pandolfo, Claudio y Dra. Cuppari, Selva

Departamento de Agronomía

2022

Índice

Índice de figuras.....	2
Índice de tablas.....	3
Agradecimientos.....	4
Introducción.....	5
Historia e importancia.....	5
Características generales del cultivo.....	6
Mejoramiento genético de maíz.....	7
Maíces autóctonos en Argentina.....	9
Importancia de selección en el mejoramiento del cultivo.....	10
Diversidad genética en razas de maíz argentino.....	11
Antocianinas.....	11
Hipótesis.....	13
Objetivos.....	13
Materiales y Métodos.....	14
Avance genético por selección.....	20
Resultados y discusión.....	22
Evaluación a campo.....	22
Evaluación de la floración.....	23
Evaluación post cosecha.....	23
Conclusiones.....	36
Bibliografía.....	37
Material suplementario.....	40

Índice de figuras

Figura 1. Comparación de la espiga primitiva (Teosinte) con la del maíz actual y diferencias en la morfología entre la planta del teosinte y el maíz (Zhang, et al. 2019).	5
Figura 2. Morfología de la planta de maíz	7
Figura 3. Estados fenológicos según la escala de Ritchie.....	7
Figura 4. Mejoramiento de la espiga a lo largo del tiempo (J.A.S. Hernández, 2009).....	8
Figura 5. Plantines de maíz en bandejas plásticas con sustrato Growmix Multipro en estadio V2 previo al trasplante	14
Figura 6. Ubicación del campo experimental del Departamento de Agronomía	15
Figura 7. Trasplante a campo.....	15
Figura 8 Observación en la planta de antocianinas, presencia de hongos y vuelco.....	16
Figura 9. . Espiga próxima a ser cosechada manualmente	17
Figura 10. . Calibre digital con el cual se midió el diámetro de las espigas	18
Figura 11. . Desgranadora manual de maíz.....	18
Figura 12. Balanza digital pesando granos.....	19
Figura 13. Espigas de maíz según su forma, a) cónica: b) cilíndrico- cónica y c) cilíndrica (Pedro Revilla 2015).	20
Figura 14. Disposición de hileras a) recta, b) irregular, c) regular y d) espiral.....	20
Figura 15. Respuesta a la selección.....	21
Figura 16. Carbón presente en planta de maíz en estado vegetativo	22
Figura 17. Número de espigas por planta.....	23
Figura 18.....	24
Figura 19. Número de macollos por planta	25
Figura 20. Longitud de todas las espigas de la población (cm).....	25
Figura 21. Diámetro de todas las espigas (cm)	26
Figura 22. Número de hileras por espiga (NHE).....	27
Figura 23 Número de granos por hilera en todas las espigas de la población	28
Figura 24. Número de granos totales en las espigas de toda la población.....	29
Figura 25 Número total de granos por planta.	29
Figura 26. Peso total de grano por espiga	30
Figura 27. Peso de mil semillas	31
Figura 28. Granos jaspeados	32
Figura 29. Espiga cilíndrico-conica	32
Figura 30. Espiga cosechadas en el 2022	34

Índice de tablas

Tabla 1: Descriptores métricos utilizados para la caracterización morfológica	17
Tabla 2. Promedios, desvíos, máximos y mínimos de los caracteres métricos analizados en la población total.....	26
Tabla 3. Rendimiento por planta teniendo en cuenta el número de espigas totales de cada genotipo	31
Tabla 4. Descriptores y sus respectivos valores mínimos.....	33
Tabla 5. Valores nutricionales de los granos analizados en el laboratorio.....	34
Tabla 6. TS1. Diferencia entre la floración masculina y femenina en días.	40
Tabla 7. TS2 todas las espigas de todas las plantas evaluadas en conjunto con espigas separadas....	41
Tabla 8. TS 3 Plantas que dieron una sola espiga	41
Tabla 9. TS 4 Plantas que dieron dos espigas	42
Tabla 10. TS 5 Plantas que dieron tres espigas.....	42
Tabla 11. TS 6 Plantas que dieron cuatro espigas.....	42

Agradecimientos:

Innumerables son las personas que me acompañaron en este largo camino del estudio, siempre conmigo apoyándome para seguir adelante pero especialmente quisiera agradecer...

A mi familia, Mama, Papa y Lara que son el pilar de mi vida, tengo todo gracias a ellos. Me enseñaron, apoyaron e incentivaron los días más difíciles.

Lara, mi hermana que es mi compañera de vida y risas, logro soportar mis nervios y me ayudo en todo lo que le pedí.

Mama por ser la persona que me calma, aconseja y escucha, sin ella no sé qué haríamos.

A mi abuela, Labu, que es una enorme contención en mi vida, dándome infinito cariño día a día.

A mi novio, Juan Lamberto, que es el amor de mi vida y desde que nos conocimos mi vida cambio totalmente. Gracias por todos los días de estudio compartido y por ayudarme a terminar esta carrera.

A mis amigos, de la escuela y los conocí en el transcurso de la carrera, por estar al lado mío antes y después de cada examen, y compartir hermosos momentos juntos.

A mi grupo de amigas próximamente agrónomas que sin ellas no hubiese logrado llegar acá en tan poco tiempo.

A Soledad Ureta, que desde el primer día decidí elegirla a ella como tutora de esta tesis, por la personalidad que tiene tan amigable y divertida. Encontré en ella similitudes en la vida que me dieron fuerzas para seguir, en todo momento me sentí acompañada.

A Selva Cuppari y Claudio Pandolfo que hicieron recomendaron, ayudaron y explicaron con gentileza, permitiendo que se enriquezca este trabajo.

Y por último a mi papa Ariel Barcelona, le dedico este trabajo final de carrera. Lo extraño con toda mi alma pero estoy segura que desde el cielo me acompaña todos los días. El siempre recordaba la siguiente frase que nos permitía seguir a pesar de las dificultades que se presentaban: “que sencillo es ser feliz, pero que difícil es ser sencillo.” Gracias infinitas a él...

Introducción

Historia e importancia

El maíz cultivado, *Zea mays*, pertenece a la familia de las Poáceas. México es el centro de origen y el lugar de mayor diversidad genética de la especie debido a la gran variedad de ambientes existentes. Sin embargo, algunos aún sostienen que pudieron haber existido algunas variedades en la actual zona peruana. El teosinte llamado *Zea mays* subsp. *parviglumis*, es el antecesor silvestre que ha participado en el origen del maíz cultivado (Doebley 1990; Matsuoka et al., 2002). La presencia de restos de maíz en sitios arqueológicos ha permitido establecer fechas y así se han encontrado en el Valle de Tehuacán, México, unas doce razas diferentes de maíz, algunas originadas hace 7.000 años (Luna *et al* 1964). Esta especie, muy utilizada por los pueblos indígenas de Mesoamérica como por ejemplo los mayas y aztecas, jugó un papel fundamental en las creencias religiosas, en sus festividades y en su nutrición. Aun actualmente podemos caracterizar a las culturas mesoamericanas por la importancia y múltiples usos que hace al cultivo de maíz, ya que constituye un alimento básico para la nutrición de las comunidades (Doebley, 1990; Paliwal, 2001).

En el siglo XVII fue introducido en Europa, allí la planta sufrió un proceso de domesticación para llegar a los actuales híbridos comerciales. La domesticación del maíz se basó en modificar la arquitectura de la planta con el objetivo de que sea más productiva y se ajuste a los estándares comerciales impuestos por las sociedades. Las modificaciones más importantes se basaron en evitar el desgrane natural de las espigas para poder recolectar la totalidad de los granos en un único momento de cosecha, granos más grandes con espigas más largas y de mayor diámetro y tallos sin ramificaciones (Fig. 1).

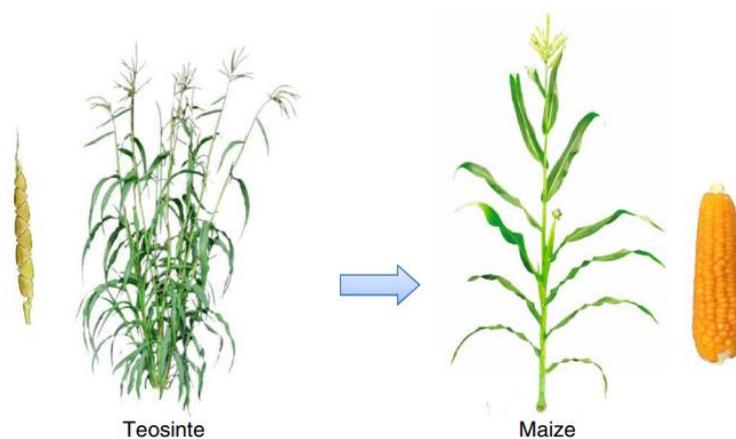


Figura 1. Comparación de la espiga primitiva (Teosinte) con la del maíz actual y diferencias en la morfología entre la planta del teosinte y el maíz (Zhang *et al.* 2019).

Posteriormente se difundió su cultivo por todo el mundo, siendo en la actualidad el cereal con el mayor volumen de producción a nivel mundial, por encima de trigo y arroz. Su importancia no solo radica en la alimentación humana, sino que es el grano forrajero por excelencia. Los países que más lo producen a nivel mundial son Estados Unidos, China, Brasil y Argentina. Otros países con menor porcentaje de producción, pero también importantes, son Ucrania, India y Canadá. Los principales países exportadores son Estados Unidos (27,9%), Brasil (22%), Argentina (19%) y Ucrania (17%) (USDA, 2020.) En Argentina el maíz representa el tercer complejo exportador más importante. Sumado a esto, el cultivo continúa aumentando en superficie sembrada y rendimiento, esto se debe al mejoramiento y la tecnología empleada. En la campaña 2021/2022 el área sembrada con maíz fue de 7.96 millones de ha. El rinde estimativo es de 71 quintales/ha con una producción nacional de 48 millones de toneladas (Bolsa de Comercio de Rosario 2022).

Características generales del cultivo

Es una especie anual, de ciclo primavero-estivo-otoñal (PEO), diclino monoica, es decir que presenta flores masculinas y femeninas separadas en el mismo pie. La inflorescencia masculina se desarrolla sobre una panoja en la parte apical de la planta y produce polen, mientras que la inflorescencia femenina es una espiga situada en la región media de la planta. Esto permite que se produzca la fecundación cruzada, ya que los granos de polen son transportados por el viento a los estigmas femeninos, este tipo de plantas se denominan alógamas. A su vez, presenta protandria (los granos de polen llegan a madurar antes que los estigmas), esto es un mecanismo natural que permite que esos granos de polen viajen hacia estigmas de otra planta que ya hayan emergido favoreciendo la alogamia. La espiga del maíz posee numerosos granos desprovistos de glumas incapaces de desarticularse sin la intervención del hombre, impidiendo así su propagación de forma natural (Doebley et Iltis, 1980).

En cuanto a la morfología, presenta un sistema radicular fibroso que cumple la función de anclaje y absorción y raíces adventicias que surgen de los nudos sobre la superficie del mismo. El tallo es simple, erecto con forma de caña y macizo en su interior, tiene una longitud elevada pudiendo alcanzar los 4 metros de altura. Las hojas son largas, de gran tamaño, lanceoladas, alternas, paralelinervadas. Se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presenta vellosidades. El maíz se comercializa mayoritariamente, de dos formas: a) como híbridos; resultantes del cruzamiento de dos¹ líneas puras endocriadas, los cuales presentan uniformidad en cuanto a la altura de la planta, el tamaño de la espiga, la fecha de floración, el número de hileras por espiga y granos por hilera y b) como variedades de polinización libre (VPL), donde el tamaño de las plantas es variable, las espigas muestran variaciones en longitud, número de hileras y granos por hilera. La principal diferencia morfológica que presentan las VPL es que poseen un número de macollos variable en comparación con los híbridos que, debido a su domesticación, presentan un único macollo (Fig.2).

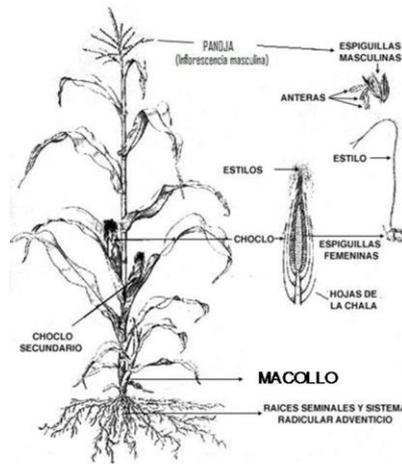


Figura 2. Morfología de la planta de maíz

El ciclo del maíz comprende los estados vegetativos (V) que generalmente van desde octubre hasta diciembre en esta latitud y reproductivos (R) en el periodo desde enero hasta abril (Ritchie et al., 1992) (Fig 3).

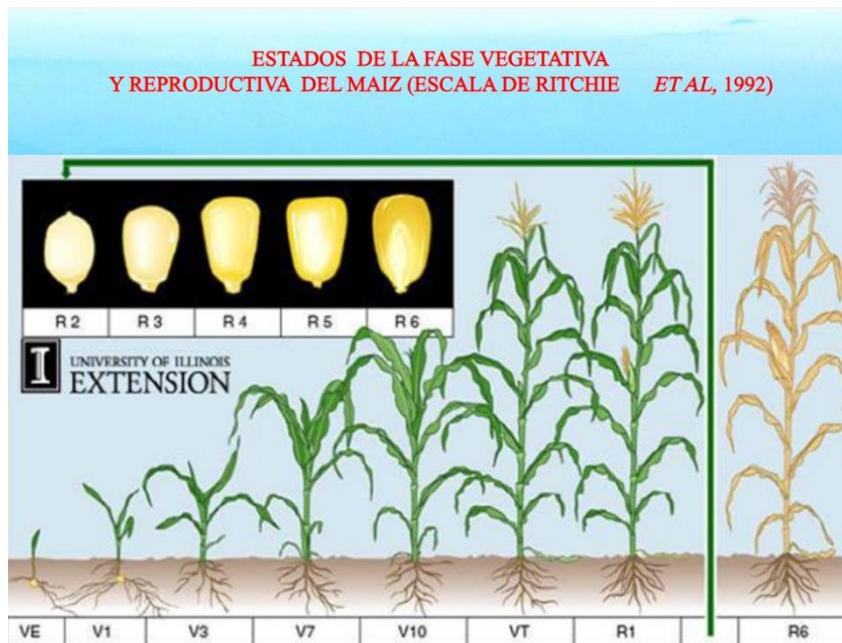


Figura 3. Estados fenológicos según la escala de Ritchie

Mejoramiento genético de maíz

El mejoramiento genético del maíz inicialmente fue realizado mediante el método de selección masal en donde se elegían las espigas de acuerdo a características fenotípicas que resaltaban del resto de la población, para sembrarlas al año siguiente. De esta forma por siglos

se ha mejorado el número de granos en la espiga pasando de 60 a 500 y aumentando la longitud total de la espiga de 2,5 cm a 30 cm (Eyherabide, 2006).

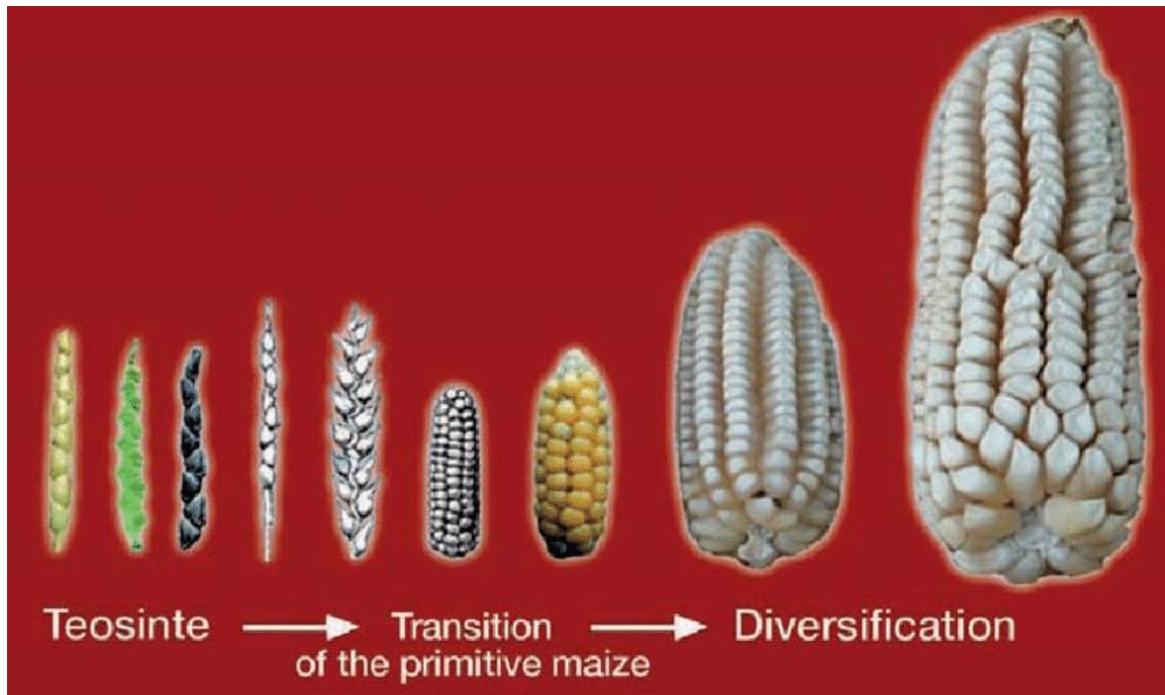


Figura 4. Mejoramiento de la espiga a lo largo del tiempo (J.A.S. Hernández, 2009)

Dentro de las variedades mejoradas de maíz, una de las primeras fueron las VPL, las cuales presentan diferentes características entre sí, ya que al cruzarse libremente hay combinaciones de distintos genes en cada uno de los individuos que conforman la población, por lo que son una fuente de alta variabilidad genética.

Sin embargo, con el paso del tiempo estas variedades fueron desplazadas por los híbridos ya que se descubrió que poseían un mayor rendimiento debido al fenómeno conocido como heterosis o vigor híbrido. El vigor híbrido se define como la superioridad del híbrido frente a sus parentales, aumentando la expresión de ciertos caracteres. Los híbridos se generan de forma artificial cruzando líneas puras consanguíneas generadas por sucesivas autofecundaciones. Estas líneas que son homogéneas y homocigotas, al ser cruzadas entre sí generan una descendencia totalmente heterocigota, en donde todas las plantas son genotípica y fenotípicamente uniformes, además manifiestan características de mayor tamaño y vigor que sus parentales (Cubero, 2013). En Argentina, el maíz se comercializa mayoritariamente bajo esta estructura genética.

Por otro lado, es importante destacar que en la producción de maíz dulce, las VPL no transgénicas constituyen un mercado alternativo al de los híbridos. Los principales demandantes son las huertas familiares y orgánicas (Presello, 2011). A su vez, a pesar de que

no tienen la capacidad productiva de un híbrido comercial, poseen un mayor potencial adaptativo para regiones donde las condiciones agroecológicas no son del todo favorables.

En la actualidad, la mayoría de la superficie sembrada con maíz utiliza híbridos simples y transgénicos, con la tecnología Bt (control de lepidóteros) e inclusive con la combinación de eventos que incluyen RR (resistencia a herbicida glifosato) y Bt. A su vez, así como existen estos maíces transgénicos, en donde se incorporan genes de otras especies, la incorporación de caracteres como la resistencia a la sequía o salinidad a través del mejoramiento convencional, puede realizarse a través del cruzamiento con materiales pertenecientes a razas locales, donde probablemente se encuentren estos genes de interés.

Maíces autóctonos en Argentina

Los primeros estudios de descripción y clasificación de razas de maíz correspondieron a las de la zona de la Quebrada de Humahuaca y estuvieron a cargo de Holmberg (1904) y Marino (1934). La elección de esta región de la Argentina se debió a su proximidad con el centro de dispersión ubicado en la Meseta Peruano-Boliviana (Eyherabide, 2006).

El norte de Argentina alberga numerosas razas autóctonas de maíz que tienen particular importancia como fuente de variabilidad genética ya que presenta una gran variabilidad topográfica y de regímenes de lluvias, lo que ha generado una importante diversidad de ambientes. Es por ello que el maíz se adaptó a esta gran cantidad de ambientes dando origen a una amplia diversidad de cultivares o razas locales tradicionales que se han mantenido a través de los años en las huertas familiares.

Argentina posee más de 60 razas autóctonas de maíz. Es por ello que se desarrolló un proyecto llamado maíces autóctonos que apuntó a recuperar un material genético de gran variabilidad y valor culinario, a través de la reinsertión de estas variedades en sus ambientes autóctonos. Es una experiencia excepcional a partir de la cual se incorporaron a la producción de semillas especies nativas disponibles en bancos de germoplasma.

Un **banco de germoplasma** es un sitio destinado a la conservación de la diversidad genética de uno o varios cultivos y sus especies silvestres relacionadas, en forma de semilla, polen o propágulos vegetativos (FAO, 2014). Existen tres tipos de bancos de germoplasma, los **bancos base** que son esencialmente bancos de seguridad que conservan por duplicado los materiales por largos periodos de tiempo de forma de asegurarse su preservación para las generaciones futuras y no es usada como fuente de distribución rutinaria. Un ejemplo de ello es el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), que posee 28000 colecciones base (Ferrer, 2015; CIMMYT, 2020). Otro ejemplo es el Banco Base con sede en el Instituto de Recursos Biológicos, INTA CASTELAR, donde se conservan duplicados de todas las colecciones, tanto propias como de los bancos que la integran (Clausen *et al*, 1995). Por otro lado, se encuentran los **bancos activos**, que contienen colecciones que se utilizan para regeneración, multiplicación, distribución, caracterización y evaluación. Deben mantenerse semillas en cantidades suficientes con el fin de estar disponible cada vez que sea necesario. Un ejemplo de banco activo de maíz es el del INTA Pergamino, el cual se creó en 1969, y

actualmente conserva 2569 entradas que representan una amplia variabilidad (Zuliani *et al*, 2012). Sin embargo, la misma es poco utilizada. Una de las mayores dificultades para su uso es que en general, se dispone de un conocimiento bastante limitado del mérito genético de las mismas (Eyhérbide *et al.*, 2005; López *et al.*, 2005). Además, resulta difícil introgresar genes específicos en el material elite (Dudnik *et al.*, 2001) sin incorporar genes ligados que puedan transferir caracteres desfavorables (Castillo-González y Goodman, 1989; Fehr, 1987). Y por último existen también los **bancos de trabajo** que poseen colecciones que utilizan los fitomejoradores o investigadores en su trabajo, pero su finalidad no es de conservación.

Las poblaciones locales de maíz conservadas en el Banco de germoplasma en INTA Pergamino han sido evaluadas y se ha encontrado resistencia al Virus del Mal de Río Cuarto (Presello *et al.* 1996) y a podredumbres de espiga con bajo contenido de micotoxinas (fumonisinas, deoxinivalenol y zearalenona) (Presello *et al.*, 2006; Iglesias, 2008). También se han efectuado estudios para determinar la calidad nutricional e industrial de las variedades nativas (Ferrer *et al.*, 1994, Robutti *et al.*, 1997, PROCIM, 1999; Robutti *et al.*, 2000; Seetharaman *et al.*, 2001) encontrando amplia variabilidad intra e interracial.

Todos estos materiales constituyen un invaluable recurso ya que son una reserva de una gran cantidad de diversidad que permite ampliar la base genética de los programas de mejoramiento. Esto es muy importante destacarlo ya que en la actualidad la base genética de los híbridos comerciales es muy estrecha, es decir, son individuos con características muy homogéneas, que trae como consecuencia erosión génica y pérdida de variabilidad, haciendo que los cultivos sean más vulnerables a cualquier cambio ambiental y a la aparición de nuevas plagas y enfermedades (Esquinas Alcázar, 2005; Salhuana *et al.*, 1998; Troyer, 1988). Los programas de mejoramiento de cualquier cultivo deben iniciar con una amplia variabilidad y, si no existe, es necesario generarla. En este sentido, las razas nativas de maíz son un excelente recurso para incrementar el rendimiento, la sanidad y la calidad, tanto de híbridos como de variedades de polinización abierta. Estas poblaciones autóctonas, contienen genes útiles para asegurar el presente y el futuro del cultivo, debido a que fueron sometidas a la presión de selección por diferentes factores ambientales durante innumerables generaciones.

Importancia de selección en el mejoramiento del cultivo

Existen factores fundamentales para el mejoramiento genético, lo esencial es contar con variabilidad genética en la población, luego a partir de esa variabilidad realizar selección de un determinado carácter, y lograr que se exprese en los individuos seleccionados para llegar al objetivo de la mejora. Para que esto suceda los caracteres seleccionados deben ser heredables. Para aumentar el rendimiento de una población se suelen seleccionar caracteres asociados al mismo, por ejemplo, en el cultivo de maíz podrían ser el número de granos por hilera, el número de hileras por espiga, el tamaño de la espiga, el diámetro de la espiga, entre otros. A partir de la aplicación de métodos de selección de individuos, se busca mejorar o producir un avance genético que permita aumentar la media poblacional. Es decir considerando, la curva de distribución normal, el número de individuos que están por encima

del promedio, son los que contribuirán al avance genético en el caso de que el objetivo de la selección sea aumentar el rinde.

En Argentina, en la década del 50, comenzó a vislumbrarse las ventajas del uso de maíces híbridos para la producción. Con ello, ocurrió el paulatino desplazamiento de las poblaciones locales por cultivares mejorados. Luego, comenzaron a manifestarse problemas de la excesiva uniformidad de los cultivos y se observó que las posibles soluciones se encontraban en las variedades locales. Este hecho, se disparó la necesidad de comenzar con la colección de muestras en todo el país, y en particular en el Noroeste Argentino (NOA) para evitar su pérdida definitiva. Una solución parcial al problema de la erosión genética, ha sido la recolección de muestras, su clasificación y posterior almacenamiento en bancos de germoplasma, con el propósito de conservar estos valiosos recursos de su posible desaparición.

Diversidad genética en razas de maíz argentino

Los primeros estudios que se han realizado sobre razas nativas de maíz corresponden a la variación alélica para los caracteres de coloración de aleurona y pericarpio del grano (Horovitz,1935). También se ha observado que existe una marcada estructuración geográfica de los alelos que conllevó a confirmar que los maíces del Noroeste y de la planicie mesopotámico-chaqueña provendrían de dos centros de orígenes diferentes: la región incásica o ando-peruana y la región guaranítica o austro-brasileña, respectivamente.

La gran diversidad de los maíces radica en su tamaño, diámetro, y número de hileras en la mazorca, diámetro de marlo, forma, tamaño e indentación de los granos, colores del pericarpio, aleurona y endosperma, así como también la textura de los granos (Cámara Hernández y Miente Alzogaray,1997).

En la Argentina se pudieron identificar 56 formas raciales, 34 de las cuáles son características del NOA. Estudios posteriores, demostraron que las razas argentinas presentan menor variación que en México por ejemplo, que es la zona de mayor diversidad. De todos modos, la caracterización genética del germoplasma autóctono aún es incompleta, por lo que es necesario realizar más investigaciones.

Antocianinas

Las antocianinas tienen efectos muy importantes en la bioquímica y fisiología de las plantas, ya que actúan como antioxidantes, inhibidores enzimáticos, precursores de sustancias tóxicas, así como en la formación de pigmentos y filtros solares (Smith y Banks, 1986). También están involucradas en mecanismos de fotosensibilización y de transferencia de energía, regulando así las reacciones de crecimiento, control de la respiración, fotosíntesis, morfogénesis, determinación sexual y la defensa contra infecciones (Tenorio-López et al., 2006). Como dan color a diferentes partes de las plantas, juegan un importante rol en los mecanismos reproductivos, ya que las pigmentaciones en inflorescencias permiten atraer a

los polinizadores y facilitar la diseminación del polen (Escribano-Bailón et al., 2004). En la mazorca, se encuentran en el marlo o corona, en la cáscara (chala) y en los granos. En el grano, se concentran principalmente en la capa de aleurona y en el pericarpio (Ruíz-Torres et al., 2008; Salinas-Moreno et al., 2013).

Algunos estudios informaron que las antocianinas podrían estar implicadas en la resistencia a diversos patógenos (Wiseman y Snook, 1995; Norton, 1999; Escribano-Bailón et al., 2004). A su vez se comprobó que producen una alta actividad inhibidora de la producción de aflatoxinas generadas por *Aspergillus flavus*, lo que indicaría que los genotipos con altos contenidos de antocianinas podrían presentar mayor resistencia al patógeno.

En el presente trabajo, junto con el grupo de investigación donde realicé mi tesina, se evaluó una población segregante de maíz generada a partir de genotipos incógnitas procedentes del NOA. Estos materiales presentan una alta diversidad genética y fenotípica, difiriendo en color, forma, tamaño de las espigas, número de espigas por planta, entre otras. El propósito fue seleccionar los genotipos con mayor sanidad y rendimiento, con el fin de lograr una mayor uniformidad y un avance genético asociado a estos caracteres en las siguientes generaciones.

Hipótesis

- 1- En una población segregante de maíz se encontrará una gran variabilidad en los caracteres morfológicos y fisiológicos, algunos de ellos asociados al rendimiento y a la sanidad del cultivo.
- 2- La selección de algunos individuos dentro de la población segregante de maíz permitirá un aumento en el rendimiento y la uniformidad de la población en la generación siguiente.

Objetivos

- 1- Estudiar los caracteres morfológicos y fisiológicos de una población segregante de maíz, generada por polinización libre de razas locales.
- 2- Lograr un aumento en el rendimiento de la población a través de la selección de los genotipos con mejor performance.
- 2- Adquirir destrezas en el seguimiento y evaluación del cultivo de maíz, tanto a campo como en laboratorio.

Materiales y Métodos

El presente trabajo fue realizado durante el año 2020/21. Para el mismo, se empleó una población segregante de maíz generada a través del cruzamiento por polinización libre de diferentes genotipos provistos por la cátedra.

El día 29 de septiembre del 2020, se sembraron en bandejas plásticas 500 semillas elegidas al azar de la campaña anterior. Las bandejas contenían sustrato GrowMix Multipro (Terrafertil S.A), el mismo se compone de Turba de Musgo Sphagnum de fibras finas, compost de corteza fina, perlita, corrector de pH, fertilizante y humectante. Luego se colocaron en invernáculo, donde las plantas fueron criadas bajo condiciones de luz natural, riego diario y temperaturas de 20-25 °C (Fig. 5).



Figura 5. Plantines de maíz en bandejas plásticas con sustrato Growmix Multipro en estadio V2 previo al trasplante

Finalizando el mes de octubre las plántulas alcanzaron el estadio fenológico de V2-V3 (Ritchie y Hanway, 1982) y en ese momento fueron trasplantadas al campo experimental ubicado en el predio del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur (S 38° 41' 38" O 62° 14' 53") (Fig. 6), el cual estaba provisto de un sistema de riego por goteo (Fig.7).

Previo a esto, el lote fue debidamente rastreado y emparejado para dicha labor, fertilizado con urea (46-0-0), realizando el control de malezas en forma manual.



Figura 6. Ubicación del campo experimental del Departamento de Agronomía



Figura 7. Trasplante a campo y riego por goteo.

Las plántulas fueron distribuidas en 4 líneas con riego por goteo, en cada una de las líneas se dispusieron 100 plantas, a una densidad aproximada de 43000 pl/ha.

Durante el desarrollo del cultivo en el campo, se evaluaron las plantas teniendo en cuenta el vuelco, la protrandria y la presencia de patógenos (Fig. 8). Para la evaluación de la sanidad de los materiales sembrados en el campo se consideró la presencia de hongos. El principal fue el carbón, *Ustilago maydis*, el cual ocasionó agallas tumorales en las plantas. Se lo denomina carbón común del maíz debido a las masas oscuras de teliosporas que se encuentran dentro de las agallas.



Figura 8 Observación en la planta de antocianinas, presencia de hongos y vuelco.

Para evaluar la floración masculina y femenina se determinó en el campo:

- Días a inicio de floración masculina: cantidad de días desde la siembra (dds) hasta la aparición de 10 % – 15 % de panojas emergidas con anteras expuestas.
- Días a inicio de floración femenina: cantidad de días desde la siembra (dds) hasta que aproximadamente el 50 % de las plantas del surco presentaron estigmas receptivos.

En el periodo de cosecha, se recolectaron las espigas pertenecientes a cada planta, (Fig.9), colocándolas en bolsas de papel madera con un rótulo en el que se colocó el número de la planta, la cantidad de espigas y macollos por planta, el número de la línea donde se sembró y por último cualquier observación destacable como por ejemplo; contenido de antocianinas en el tallo y/o espiga o nivel de infestación de hongos.



Figura 9. . Espiga próxima a ser cosechada manualmente

En el laboratorio se caracterizaron las espigas cosechadas utilizando doce descriptores aceptados internacionalmente (Biodiversity International, 1991) (Tabla 1) y se analizó de forma individual para cada espiga cosechada.

Tabla 1: Descriptores métricos utilizados para la caracterización morfológica

Sigla	Descriptor	Detalle
NM	Número de macollos	Número de macollos por planta
NET	Número de espigas totales	Número de espigas totales
LE	Longitud de la espiga	Longitud (cm) de la espiga
NHE	Número de hileras/espiga	Número de hileras/espiga
NGH	Número de granos/hilera	Número de granos/hilera
NGE	Número de granos/espiga	Número de granos/espiga
DM	Diámetro de la espiga	Longitud (cm) de diámetro de la mazorca
PMG	P1000	Peso (g) de 100 semillas
PTE	Peso total de la espiga	Peso (g) de las semillas
NGP	Número de granos por planta	Número de granos por planta
CG	Coloración del grano	Coloración del grano
FDE	Forma de la espiga	Forma de la espiga

Las determinaciones se realizaron como se describe a continuación:

- Diámetro de la/las espigas: se determinaron midiendo a la mitad de la espiga con un calibre digital (Fig.10).



Figura 10. Calibre digital con el cual se midió el diámetro de las espigas

- Numero de granos por espiga: se calcularon multiplicando el número de granos que hay en una hilera por el número de hileras totales en la espiga.

NGE: N de granos/hilera x N de hileras/ espiga

- Peso1000 (PMG): se procesaron las espigas de forma individual en una máquina desgranadora manual que permite un rápido desgrane (Fig.11). Para calcular el P1000 se realizaron tres pesajes de 100 granos en una balanza eléctrica (Fig.12), estos valores se promediaron y la media aritmética se multiplicó por 10 para obtener el P1000. Este procedimiento se realizó en una muestra de 35 espigas al azar.



Figura 11. . Desgranadora manual de maíz



Figura 12. Balanza digital pesando granos

- **Peso total:** se procesó la espiga principal de cada planta, utilizando la metodología indicada en el punto anterior y se pesó la totalidad de los granos. Luego se los almacenó en bolsas de papel madera.

Análisis de caracteres cualitativos

En cuanto a la forma de la espiga (FDE) se consideraron tres tipos (Rosa Acosta Roca et al., 2013) (Fig. 13):

- a) Cónicas (co)
- b) Cilíndricas (C)
- c) Cilíndrico cónicas (CC)

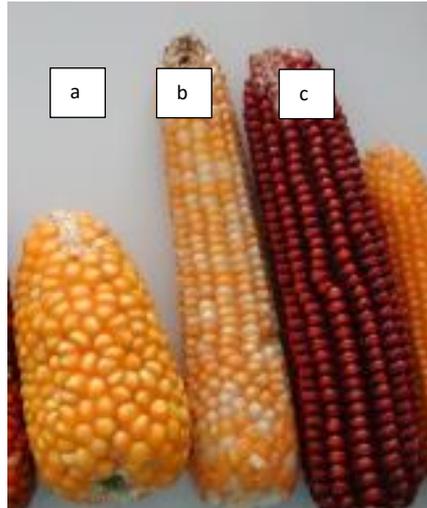


Figura 13. Espigas de maíz según su forma, a) cónica: b) cilíndrico- cónica y c) cilíndrica (Pedro Revilla 2015).

Respecto a la disposición de las hileras la misma se caracterizó como Regular (R), Irregular (i), Recta (RE) y Espiral (ES) (Figura 14).

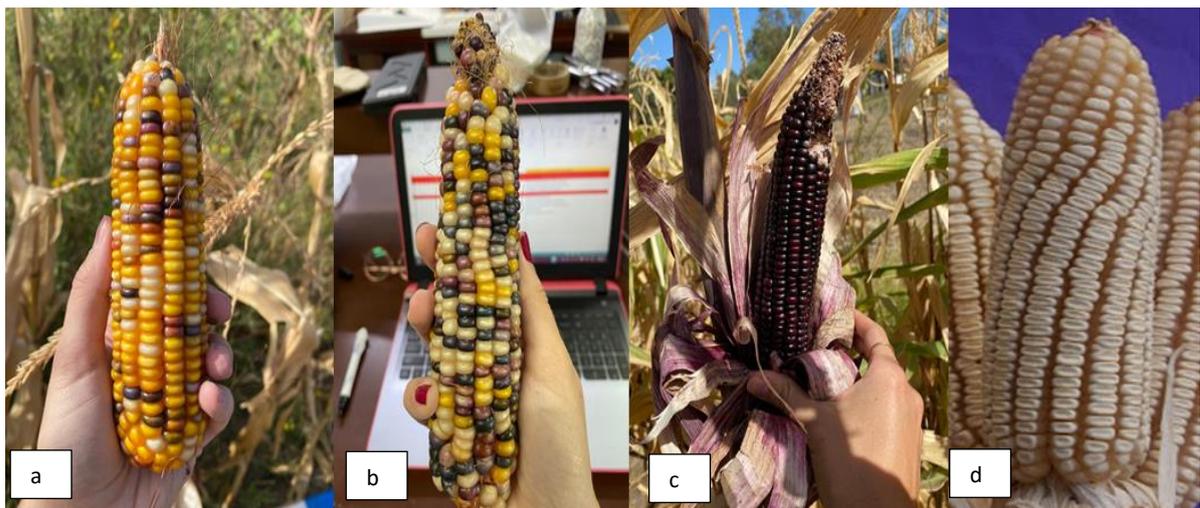


Figura 14. Disposición de hileras: a) recta, b) irregular, c) regular y d) espiral.

Los datos se organizaron en una planilla de Microsoft Excel para determinar: promedio, desvío estándar, frecuencia, máximos y mínimos de cada característica analizada. A partir de esos datos, se determinó la intensidad de selección para los caracteres asociados al rendimiento, eligiéndose las plantas que formarían parte de la generación siguiente.

Avance genético por selección

Con el fin de seleccionar aquellas plantas que conformarían la siguiente generación, se analizaron caracteres cuantitativos que están altamente correlacionados con el rendimiento y poseen una alta heredabilidad, suficiente como para garantizar un avance por selección fenotípica. Tales caracteres son los mencionados anteriormente como la longitud de espiga

(LE), diámetro medio de espiga (DM), número de hileras por espiga (NHE), número de granos por hilera (NGH), peso total de la espiga (PTE), peso de 1000 semillas (PMG), número de granos por espiga (NGE). A su vez, se tuvo en cuenta el número de macollos por planta (NM) y número de espigas en macollo (NET).

El avance genético por selección depende en forma directa de tres factores:

- Variabilidad
- Efecto encubridor del ambiente (h^2)
- Intensidad de selección (i)

La diferencia entre la media de una generación y la siguiente es una medida de cuanto ha evolucionado el carácter en una generación y se llama respuesta a la selección (R). (Fig. 15).

RESPUESTA A LA SELECCIÓN

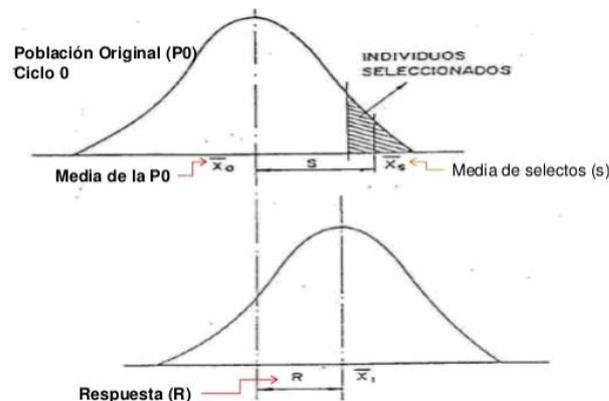


Figura 15. Respuesta a la selección

Diferencial de selección (S): diferencia entre la media de los individuos seleccionados PS y la media de la población total P0.

Luego se debe decidir a partir de qué valores seleccionar, que está dado por el valor mínimo.

Para este trabajo se aplicó una intensidad de selección del 30% en los caracteres antes mencionados. Para establecer el valor mínimo a partir del cual se realizaba la selección, se utilizó la siguiente ecuación (Hiorth, 1985):

$$X_s = \bar{X} + \sigma \cdot Z$$

En donde X_s es el valor mínimo de la fracción de población seleccionada, \bar{x} es la media de la población inicial o progenitora, σ es el desvío estándar de la población inicial o progenitora y

z es el valor de la ordenada en el punto de truncamiento, es decir, el punto a partir del cual todos los individuos que superen ese valor formarán parte de la fracción de población seleccionada.

Por último, de cada una de las espigas seleccionadas se sembraron 10 semillas en el campo experimental de Agronomía de la UNS para ser evaluadas en la campaña 2021/2022.

Resultados y discusión

Evaluación a campo

Evaluación de la sanidad:

Se observó una buena sanidad en los materiales en general, con un 6% del total de las plantas analizadas afectadas por carbón, *U. maydis*, o con aspecto de planta enferma (Fig.16).



Figura 16. Carbón presente en planta de maíz en estado vegetativo

Las plantas volcadas representan un 0,8%. Tanto las espigas que pertenecían a plantas con vuelco como las que tenían síntomas de carbón fueron cosechadas, pero eliminadas de la etapa de selección para la generación siguiente.

Cabe destacar que este sería un excelente comportamiento si se lo compara con los materiales mejorados donde no existen líneas de maíz inmune a la infección por *U. maydis*. Las líneas de maíces dulces tienden a ser más susceptibles al carbón común que los otros maíces (Fernández 2021).

Por otro lado, se observó la presencia de antocianinas en chalas, tallos, vainas y espigas, en un 12% del total de plantas analizadas. Como ya se mencionó anteriormente, la presencia de antocianinas en la planta puede determinar resistencia a diversos patógenos ya que por ejemplo pueden inhibir la producción de aflatoxinas generadas por *Aspergillus flavus*. También ejercen una función protectora contra la radiación UV. Y a su vez presentan propiedades antioxidantes y bioactivas que son un factor de interés para la alimentación humana (Mansilla, 2018).

Evaluación de la floración

De las 62 plantas en las que se evaluó la protandria característica de la especie, dos plantas no presentaron protandria y el resto mostró un promedio de 10 días de diferencia entre el comienzo de la floración masculina y femenina presentando un valor máximo de 23 días de diferencia en la floración para una sola de las plantas analizadas (Material Suplementario TS1).

Evaluación post cosecha

El carácter número de espigas por planta vario de entre una a cuatro espigas, mostrando que más del 50% de los materiales evaluados poseían solo una espiga (Fig.17).

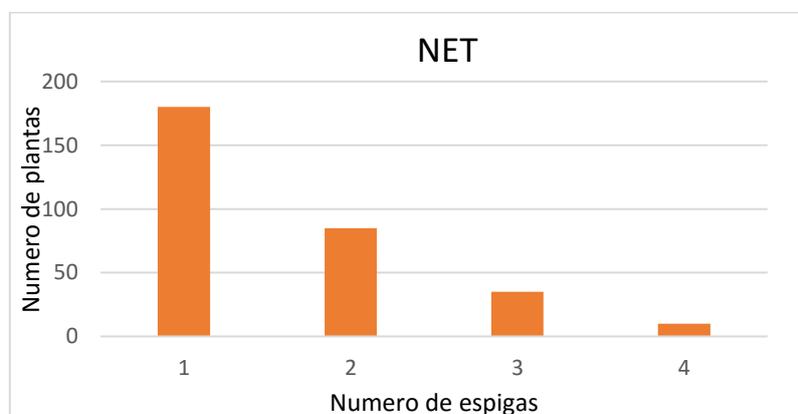


Figura 17. Número de espigas por planta

Si bien unas pocas plantas presentaron cuatro espigas (N= 10, material suplementario), las espigas fueron parejas en cuanto a su morfología y llenado de grano (Fig. 18) Este dato es muy valioso al tener en cuenta que el índice de prolificidad, definido como número de espigas sobre número de plantas, es un carácter que contribuye a mejorar el índice de cosecha con efectos en la productividad y estabilidad del rendimiento.



Figura 18 Espigas pertenecientes a una sola planta, por lo que representa un elevado índice de prolificidad.

Este carácter tiene mayor heredabilidad que el rendimiento y, dada su asociación con el mismo, puede ser usado como criterio de selección para mejorar en forma indirecta la productividad del cultivar (Martínez et al., 2018). La selección por prolificidad incrementa el número de granos por unidad de superficie pero el tamaño final de los mismos dependerá del potencial del cultivo para proveer fotoasimilados (Echarte y Andrade, 2003)

Con respecto al carácter número de macollos existentes por planta, del total de las plantas analizadas la mayoría presentaba solo un macollo (Fig. 19), esto también está en concordancia con el número de espigas por planta, es decir, prácticamente no se encontraron macollos infértiles, sino que aquellas plantas que presentaban más de un macollo solían producir más de una espiga también.

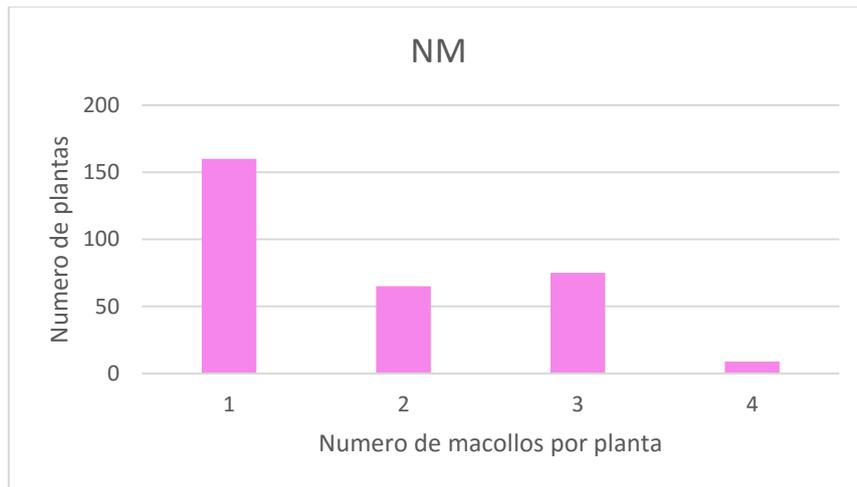


Figura 19. Número de macollos por planta

La longitud de la espiga es un factor de importancia que influye en el resultado final de la producción (Ángeles *et al.*, 2010). En este caso, los materiales presentaron una gran variabilidad. La mayoría de las espigas medidas tenían una longitud de 20 cm (Fig. 20). El valor promedio fue de 15.11 cm, con un valor máximo de 25,5 cm (Tabla 2).

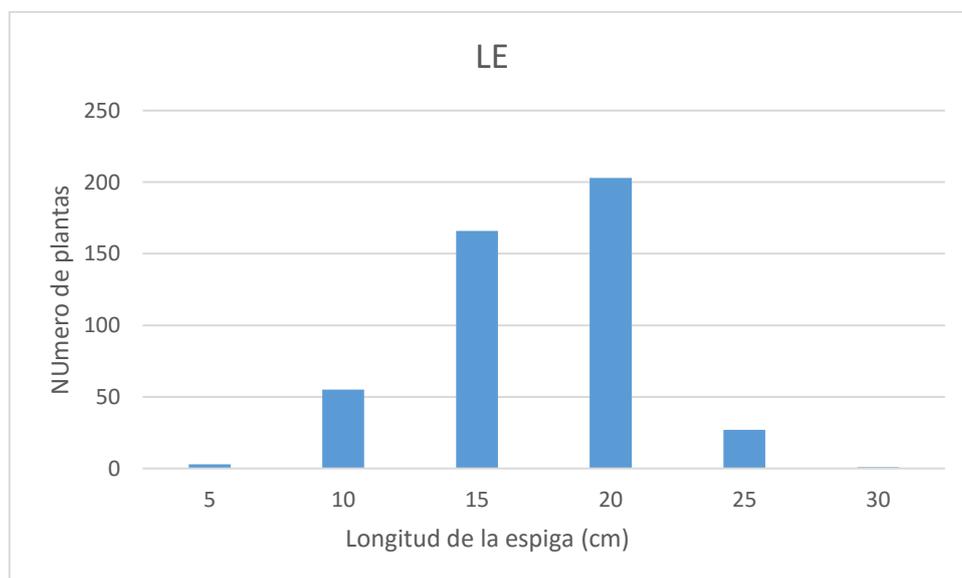


Figura 20. Longitud de todas las espigas de la población (cm)

Tabla 2. Promedios, desvíos, máximos y mínimos de los caracteres métricos analizados en la población total.

	LE	DM	NHE	NGH	NGE	NGP	PTG	P1000
media	15,11	35,59	12,36	26,99	339,94	486,42	96,95	278,95
desvío	3,85	6,18	1,92	10,05	140,38	260,09	40,10	42,34
max	25,50	49,50	20,00	53,00	756,00	1504,00	217,13	366,30
min	5,00	3,16	6,00	5,00	50,00	60,00	4,24	213,40

Para la variable diámetro medio de la espiga, algunos individuos mostraron como valor máximo 49.5 cm pero la mayoría era de un diámetro cercano a 40 cm (Fig. 21) y un promedio de 35.59 cm +/- 5,8 (Tabla 2).

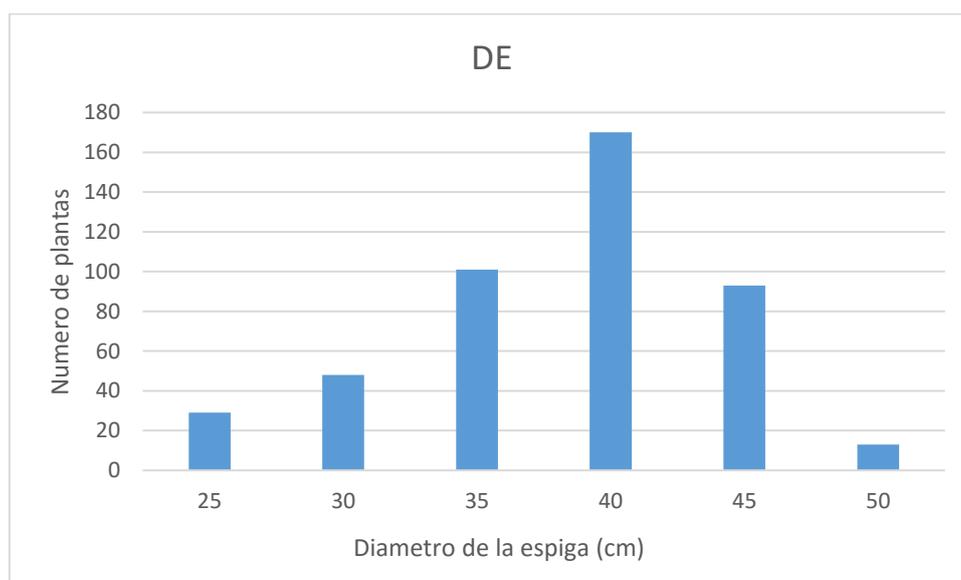


Figura 21. Diámetro de todas las espigas (cm)

El carácter número de hileras por espiga (NHE), está asociado al rendimiento de la planta, debido a que un mayor número de hileras conduce a una mayor producción de granos por espiga. EL NHE es un carácter que está fuertemente controlado por el genotipo, resultando poco sensible a la variación de las condiciones climáticas. Este se determina luego de la diferenciación de las espigas, en estadios muy tempranos de la fase reproductiva del ápice (Pagano *et al.*, 2007). En la población analizada los valores de números de hileras en general fueron entre 6 y 20 con un promedio de 12.36 y un desvío de 1.92 (Tabla 2).

La mayoría de las espigas presentaron 12 hileras y solamente 1 espiga del total presentó 20 hileras (Fig. 22).

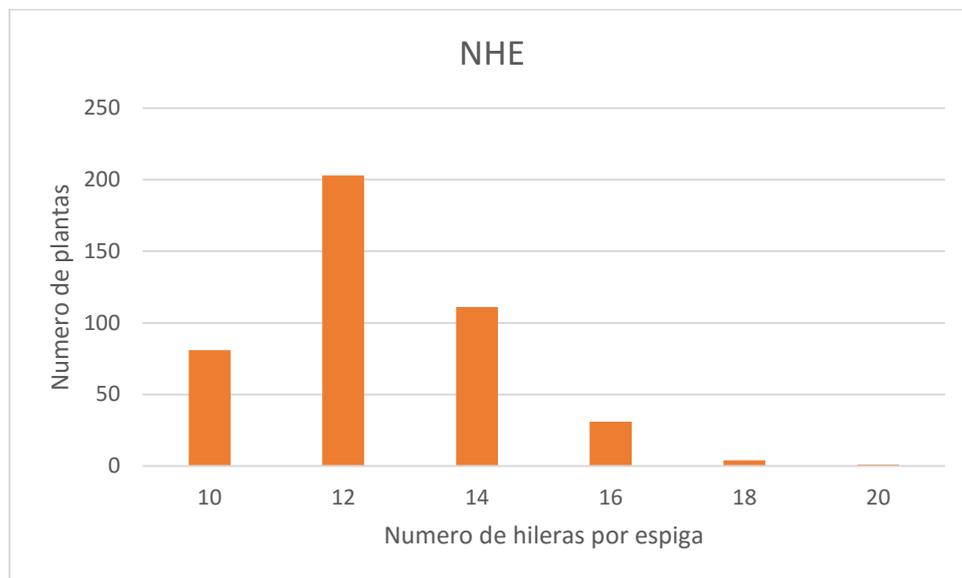


Figura 22. Número de hileras por espiga (NHE)

Las plantas que poseían dos espigas, mantuvieron un número promedio de hileras por espiga cercano a 12 si bien la segunda espiga presentó como valor mínimo 6 hileras por espiga, mostrando cierta variabilidad en las segunda espiga. Lo mismo sucedió en las plantas que poseían tres y cuatro espigas, en promedio el número de hileras por espiga se mantuvo (entre 10-12), detectándose algunos casos particulares donde los valores mínimos llegaron a 7 hileras por espiga (Material Suplementario TS4 TS5y TS6).

El número de granos por hilera fue muy variable presentando un comportamiento de distribución de curva normal. Donde algunos genotipos se destacaron dando más de 50 granos por hilera. Sin embargo, la mayoría de las plantas presentaron entre 35 y 40 granos por hilera (Fig. 23). El valor promedio de NGH para la población fue de 26.9 y el desvío fue de 10.05 (Tabla 2), demostrando elevada variabilidad para este carácter. Cuando se evaluaron por separado los comportamientos de las plantas con más de una espiga se observó una gran variabilidad en este carácter, mostrando valores de 34 a 16 granos por hilera en dos espigas de la misma planta, por ejemplo. En las plantas que poseían tres y cuatro espigas, el valor promedio varió entre 16 y 21 granos por hilera, con algunos genotipos que dieron un mínimo de 6 granos por hilera (Material Suplementario TS4 TS5 y TS6).

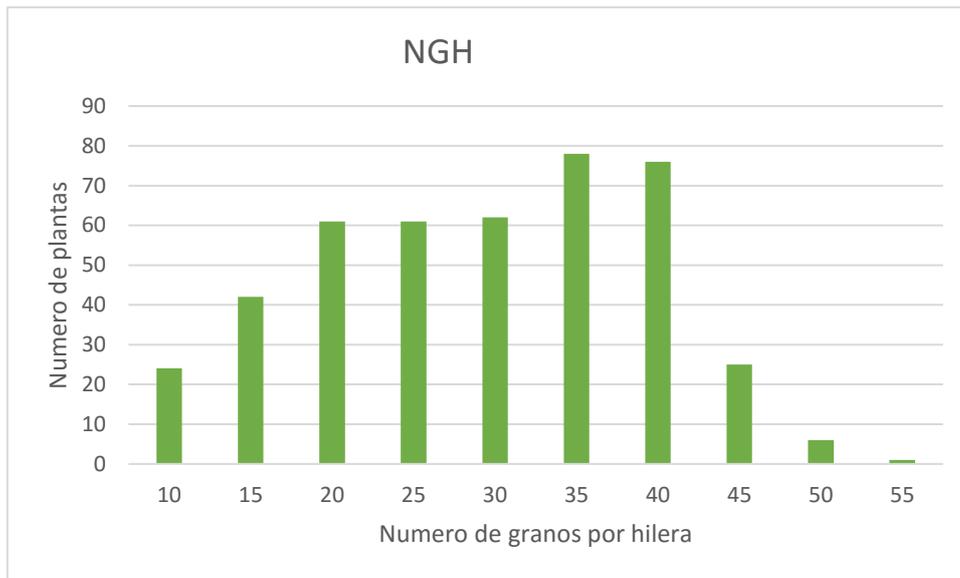


Figura 23. Número de granos por hilera en todas las espigas de la población

Tanto el peso como el número de granos determinan el rendimiento, pero de los dos, el más importante es número de granos por unidad de superficie, ya que explica la mayor parte de las variaciones, el cual se determina alrededor de floración (Capristo *et al.*, 2007). Es por ello que es muy importante evaluar el número de granos en la espiga. En este caso, se observó que los materiales evaluados presentaron una curva de distribución normal, donde se puede ver alta variabilidad (Fig.24). Algunos genotipos mostraron como valor máximo 756 granos/espiga, y un caso particular a destacar fue una planta que produjo tres espigas y como valor máximo dio 336 granos en la tercera espiga (Material Suplementario TS 5). Este dato demuestra que no habría un impacto directo sobre la producción de NGE cuando la planta produce más de una espiga, no obstante, el promedio dio un valor de 339.94 y el desvío 140.38, evidenciando la gran dispersión que hay para este carácter dentro de la población. En cuanto a aquellas plantas que desarrollaron dos espigas, se encontró que presentaban un rango entre 240 y 412 granos por espiga y se registró un valor máximo de 546 granos en la segunda espiga (Material Suplementario TS 4). Para el caso de las plantas que dieron cuatro

espigas en total, se registró un mínimo de 50 granos y el promedio de cada una de las cuatro espigas vario entre 226-379 granos por espiga (Material Suplementario TS 6).

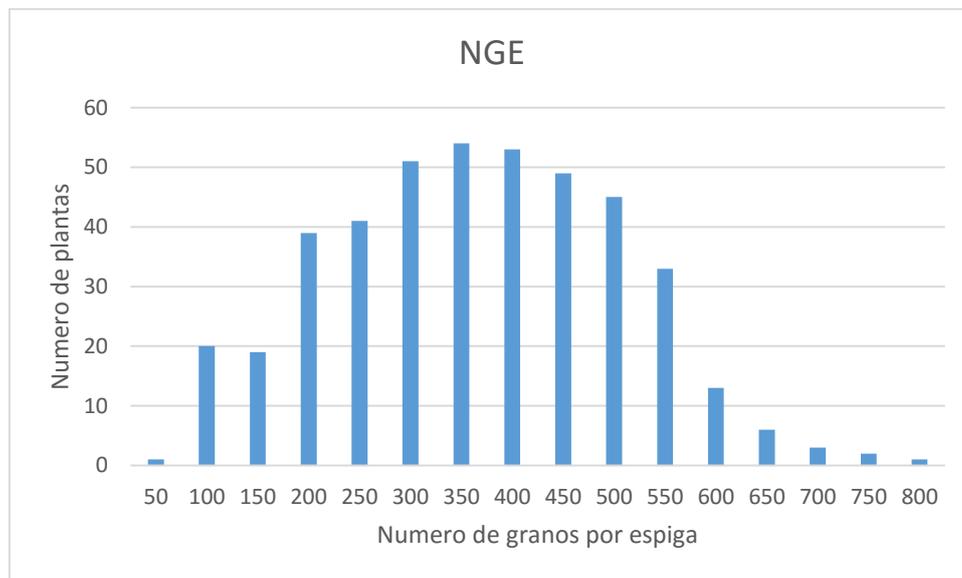


Figura 24. Número de granos totales en las espigas de toda la población.

En cuanto al número total de granos producidos por planta fue entre 60 y 1500 granos con un promedio de 486.42 granos/planta (Fig 25, Tabla 2). Las plantas que obtuvieron el número mayor de granos fueron aquellas que tenían cuatro espigas y el valor menor correspondió a las plantas que solo dieron una espiga (material suplementario TS 4 y TS 6). Para las plantas que dieron dos y tres espigas el promedio de cada una de esas espigas pertenecientes a la misma planta, se mantuvo entre 564-794 granos por planta, encontrándose algunos individuos que dieron como valor mínimo 70 granos por planta (Material Suplementario TS 4 y TS 5).

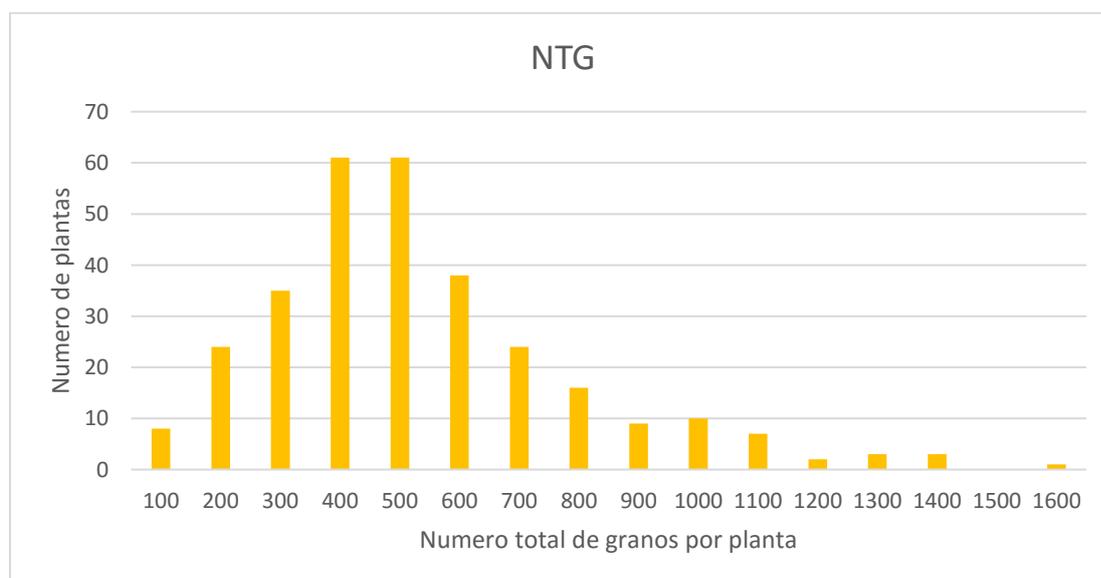


Figura 25. Número total de granos por planta.

En cuanto al peso total de granos por espiga, lo que se busca es seleccionar aquellas espigas que den granos más pesados, debido a que está relacionado con un mayor rendimiento. El peso de los granos depende de dos factores interrelacionados: la duración del período efectivo de llenado y la tasa de llenado (Andrade *et al.*, 1996).

Este carácter también mostro una distribución normal para la población teniendo como peso máximo de granos por espiga 217 g y un mínimo de 4 g (Tabla 2, Fig. 26). A medida que aumenta el número de espigas producidas en la planta, el peso total de granos por espiga disminuye, ya que el mayor valor de PGE se dio en plantas que tenían una sola espiga (material suplementario TS 3). Por otro lado, si se compara con plantas que produjeron tres y cuatro espigas, su valor más alto es entre 128-195 g (Material Suplementario TS5 y TS6). Para el caso de individuos que dieron dos espigas los resultados no son tan contrastantes con respecto a los de una sola espiga (Mat. Suplementario TS 3 y TS 4).

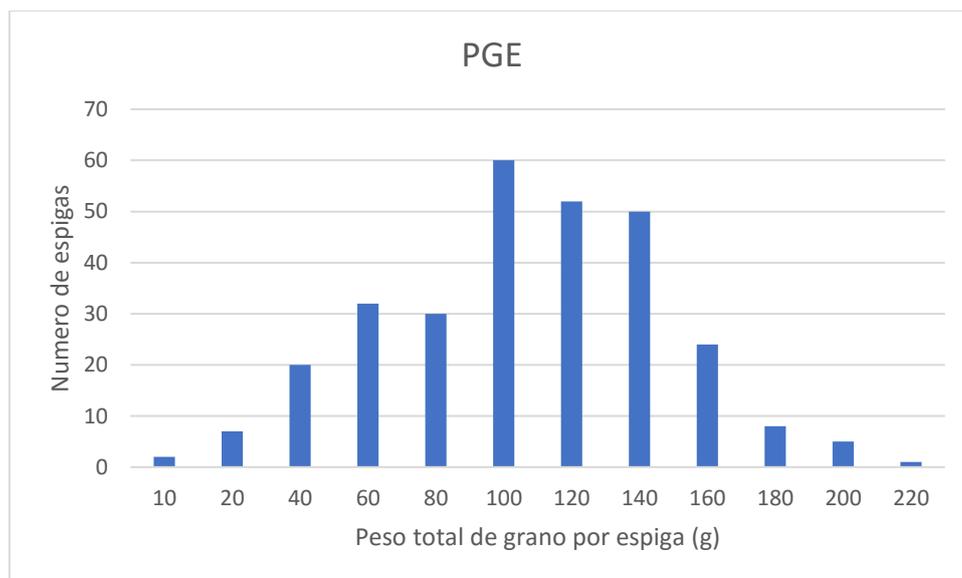


Figura 26. Peso total de grano por espiga (g)

Para el peso en 1000 semillas se evaluaron al azar 35 plantas dentro de todas las categorías (una, dos, tres y cuatro espigas) la mayoría presentó un P1000 cercano a los 260 g, siendo el valor promedio 278 g y el mínimo registrado 213 g (Fig. 27, Tabla 2). Para el caso de las plantas que produjeron más de una espiga por planta el promedio de las espigas de una misma planta fue entre 260-300 g (material suplementario TS 4, TS 5 y TS 6).

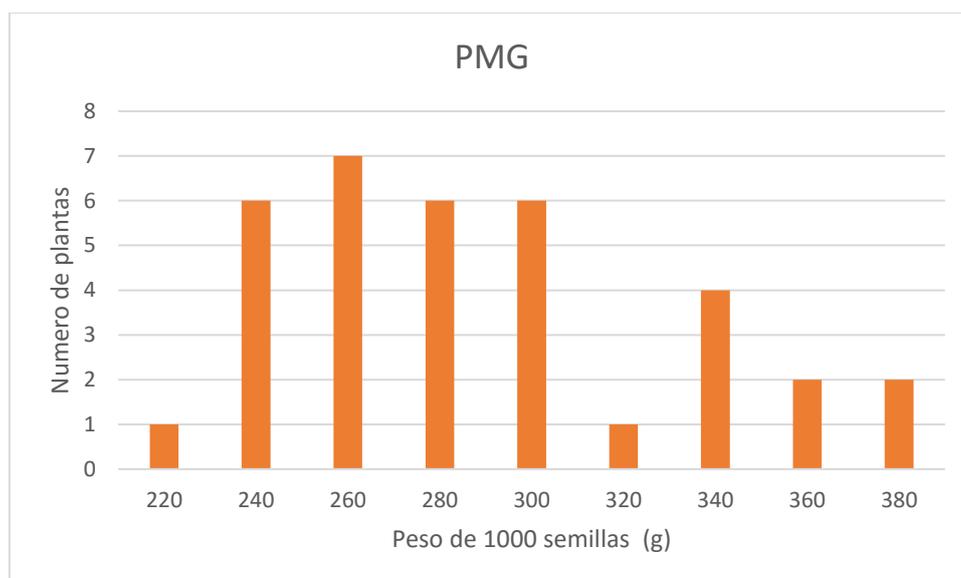


Figura 27. Peso de mil semillas

El mayor P1000 se evidenció en las plantas que poseían dos espigas (Tabla 3). Sin embargo, teniendo en cuenta el número de granos promedio por planta, para esta población el rendimiento en g es superior en aquellas plantas que tienen una mayor prolificidad. Es decir, si bien compensan con un menor P1000, el número elevado de granos las lleva a tener un mayor rendimiento. Este hecho se puede demostrar, por ejemplo, en los genotipos que presentaron cuatro espigas donde su P1000 promedio es de 217 g, con una cantidad de granos por planta de 1033,4 mientras que las plantas que contenían una sola espiga su p1000 promedio dio un valor de 280 g y se contabilizaron 356 granos totales (Tabla 3).

Tabla 3. Rendimiento por planta teniendo en cuenta el número de espigas totales de cada genotipo

NET (número de espigas totales)	Total de granos por planta	P1000	Rinde por planta (g)
1	356,61	280	99,9
2	564,7	302	170,5
3	794,1	263	208,8
4	1033,4	271	280,1

Caracteres cualitativos:

En cuanto al carácter color de grano se evidenciaron aproximadamente 13 colores diferentes: incoloros, blancos, amarillos, morados, jaspeados, café, anaranjado, moteado, capa blanca,

rojo, púrpura, marrón y crema (Fig. 28). Este es un carácter cualitativo que caracteriza a estos materiales, en donde se demuestra la alta variabilidad asociada a la coloración del grano.

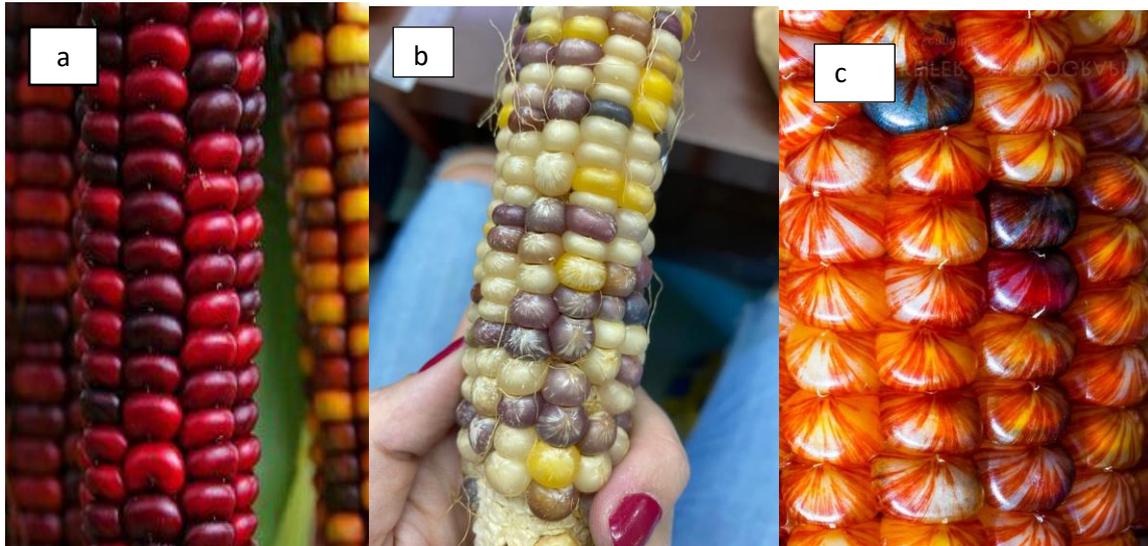


Figura 28. Granos a) rojos, b) y c) jaspeados

Teniendo en cuenta el carácter de la forma de las espigas (FDE) predominaron las espigas con forma cilíndrico – cónica (Fig. 29).



Figura 29. Espiga cilíndrico-conica.

4. Selección de espigas

Luego de realizar el análisis de los datos, teniendo en cuenta la gran variabilidad observada se seleccionaron los individuos que conformarían la siguiente generación quedando un total de 35 plantas madre que representaron el 30 % superior de la población. Se seleccionó teniendo en cuenta un valor mínimo para cada variable. En la tabla 4 se detallan los descriptores, junto a los valores mínimos a partir del cual se realizó la selección en cada una de las variables consideradas.

Tabla 4. Descriptores y sus respectivos valores mínimos

Descriptor	LE (cm)	DM (cm)	NHE	NGH	NGE	PTE (g)	PMG (g)
Xm (valor mínimo)	17,60	36,89	13,625	32,788	425,72	111,85	30,36

Evaluación de la respuesta a la selección

Si bien se sembraron las semillas correspondientes a las plantas seleccionadas en el apartado anterior en el campo experimental del DA durante la campaña 2021-2022, el año de producción fue atípico debido a condiciones desfavorables de déficit hídrico, no pudiéndose evaluar la respuesta a la selección ya que estas condiciones no permitieron el adecuado desarrollo de la planta, quedando espigas sin fertilizar o parcialmente polinizadas. Asimismo, la sequía perjudicó el llenado de los granos como puede verse a continuación (Figura 30).



Figura 30. Espigas cosechadas en el año 2022.

Los granos cosechados fueron llevadas al laboratorio de Nutrición Animal para evaluar su calidad nutricional, dado que uno de los posibles destinos de estos materiales podría ser la alimentación animal.

Los parámetros analizados fueron materia seca (MS), proteína bruta (PB), fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y estimaciones de digestibilidad de la MS (DMS), energía digestible (ED) y energía metabolizable (EM) según ecuaciones de predicción de NRC (1998).

Los resultados se detallan a continuación:

Tabla 5. Valores nutricionales de los granos analizados en el laboratorio

Análisis:

PB: 10,23 %

FDN: 33,99 %

FDA: 6,81 %

DMS: 83,60 %

ED: 3,66 Mcal/kg MS

EM: 3,00 Mcal/kg MS

Los resultados están expresados como porcentaje sobre materia seca.

Valores normales nutricionales del grano de maíz:

- EB: 4,52
- PB: 10%
- FDN: 9%
- FDA: 3%

Los valores de proteína bruta, fibra detergente ácida (FDA) y la energía bruta (EB) en el análisis realizado coinciden con los valores aceptables que presentan los granos de maíz con destino a la alimentación animal (Tabla 5). El grano de maíz es un concentrado energético, es por ello que tiene un elevado porcentaje de energía bruta. Con respecto a la FDN que representa el residuo insoluble correspondiente a la celulosa, hemicelulosa y lignina, los materiales evaluados presentaron un porcentaje por encima de lo común por lo que debería realizarse un análisis más detallado para conocer el nivel de lignina dentro de la FDN, para evaluar si se afectaría la digestibilidad de ese residuo. Un incremento en la FDN, podría llegar a provocar una disminución en la tasa de pasaje ruminal, por lo que se modificaría el consumo en los animales.

Conclusiones

- En la población segregante de maíz analizada se encontró una alta variabilidad en cuanto a sus caracteres morfológicos y fisiológicos por lo que son un reservorio genético muy valorable para encontrar genes de interés agronómico y de esta forma producir mejoras o introducir resistencias en los híbridos actuales que consumimos.
- Estas razas nativas presentan un enorme potencial para ampliar la base genética de los programas de mejoramiento debido a la alta diversidad que presentan.
- Los resultados del presente trabajo demostraron que los materiales evaluados presentaron en términos generales buena sanidad y resistencia al vuelco.
- A través de métodos de selección año tras año se podrá ir mejorando el desempeño de estas líneas al seleccionar por caracteres que presenten una elevada heredabilidad y tengan una correlación directa con el rendimiento.
- El avance genético será exitoso siempre y cuando las condiciones climáticas acompañen adecuadamente al desarrollo del cultivo ya que el fenotipo está influenciado por el efecto ambiental y no solo depende del genotipo.
- Los materiales evaluados presentaron aptitud para ser destinados a la alimentación animal. Esto es muy importante remarcarlo, debido a que el maíz es una fuente de alimento concentrado energético y de alta palatabilidad, siendo el principal grano forrajero.
- Los resultados del análisis de calidad nutricional mostraron que a diferencia de un híbrido convencional, estas variedades segregantes de maíz presentan un nivel de FDN elevado, que contribuirá a aumentar el volumen de las heces en los animales y acelerar el tránsito intestinal. Por otro lado, la PB, la digestibilidad y el porcentaje de materia seca total son similares.

Bibliografía:

- Acosta Roca, Rosa; Colomer López, Adán R.; Ríos Labrada, Humberto y Martínez Cruz, Michel. Evaluación morfoagronómica de una población de maíz (*Zea mays*, L.) en condiciones de polinización abierta en el municipio Batabanó, provincia Mayabeque. *Cultivos Tropicales*, 2013, vol. 34, no. 2, p. 52-60.
- Andrade, F. H, Cirilo, A., Uhart, S. y Otegui, M. 1996. *Ecofisiología del cultivo de maíz*. Balcarce: La Barrosa. Buenos Aires.
- Banks, S.W. 1986. Formation and biological properties of isoflavonoid phytoalexins. In Cody, V, Middleton, E and Harborne, J.B. (eds). *Plant Flavonoids in Biology and Medicine: Biochemical, Pharmacological, and Structure-Activity Relationships*. New York. Alan R. Liss, pp 113-124
- Cámara Hernández, J.; Miente Alzogaray, A.M.; Bellón R. y Galmarini, A.J., Razas de maíz nativas de la Argentina. Ed. Fac. Agronomía, UBA, vol. 1, 174 pp. 2012
- Cubero, J.L. 2013. *Introducción a la Mejora Genética Vegetal*. 3ra edición. Ediciones MundiPrensa Madrid. España.
- FAO. 2014. *Normas para bancos de germoplasma de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura*. Roma
- Horovitz, S. (1935). Distribución geográfica de factores genéticos en maíces autóctonos del norte argentino. *Rev. Arg. Agr.*, 2 (6): 133-135. Buenos Aires
- International Board for Plant Genetic Resources (IBPGR), Rome(Italy) Pages:65 p.1992
- Martínez Jonatán, Llovet José A y Presello Daniel A. (2018). CANDELARIA DUO INTA UNA VARIEDAD DE MAIZ PARA AGRICULTURA FAMILIAR Y ORGANICA. En -(VOL 10. Nro 37). Pergamino: INTA.
- Norton, R. A. 1999. Inhibition of aflatoxin B1 biosynthesis in *Aspergillus flavus* by anthocyanidins and related flavonoides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47:1230-1235.
- NRC, 1996. *Latin American Feed Tables, 1974*, Información Laboratorio Nutrición Animal Dto. Agronomía y otros laboratorios regionales.
- Pagano, E., Maddoni, G.A., 2007. Intra-specific competition in maize: early established hierarchies differ in plant growth and biomass partitioning to the ear around silking. *Field Crops Res.* 101, 306–320
- Ritchie, S. W., Hanway, J. J., Benson, G. O., Herman, J. C., & Lupkes, S. J. (1993). How a corn plant develops. *Spec. Rep. 48*. Iowa State Univ. Coop. Ext. Serv., Ames.Smith, D.A. and
- Zhang, L.; Peek, A. S.; Dunams, D. y Gaut, B. S. Population Genetics of Duplicated Disease-Defense Genes, hm1 and hm2, in Maize (*Zea mays* ssp. *mayz* L.) and its wild Ancestor (*Zea mays* ssp. *parviglumis*). *Genetics*, 2002, vol. 162, p. 851-860.

Páginas web:

- Capristo R. Pedro, Rizzalli Roberto H, and. Andrade Fernando H. (2007). Ecophysiological Yield Components of Maize Hybrids with Contrasting Maturity. 26 de Junio 2007, de - Sitio web: <file:///C:/Users/usuario/Downloads/Capristo%202007.pdf>
- CIMMYT. URL: <https://seedsofdiscovery.org/es/el-banco-de-germoplasma-del-cimmytactividades-y-logros/> Fecha de consulta: Abril 2020
- Esquinas-Alcázar, J. (2005) Protecting Crop Genetic Diversity for Food Security: Political, Ethical and Technical Challenges. Nature Reviews Genetics, 6, 946-953. <http://dx.doi.org/10.1038/nrg1729>
- Esquinas-Alcázar, J. (2005) Protecting Crop Genetic Diversity for Food Security: Political, Ethical and Technical Challenges. Nature Reviews Genetics, 6, 946-953. <http://dx.doi.org/10.1038/nrg1729>
- Eyherabide Guillermo H. (2006). Mejoramiento genético de maíz y su trayectoria en la Argentina. 2006, de ILSI Argentina Sitio web: <http://www.maizar.org.ar/documentos/ilsi%20maizar.pdf#page=14>
- Eyherabide Guillermo H. (2006). Mejoramiento genético de maíz y su trayectoria en la Argentina. 2006, de ILSI Argentina Sitio web: <http://www.maizar.org.ar/documentos/ilsi%20maizar.pdf#page=14>
- Fernandez Perez Jesus. . (2021). Carbón común del maíz. 2021, de INTA Sitio web: <https://www.agritotal.com/nota/carbon-comun-del-maiz/>
- Fernández Pérez Jesus. (2021). Carbón común del maíz. -, de Agritotal Sitio web: <https://www.agritotal.com/nota/carbon-comun-del-maiz/>
- Ferrer, M. 2007. Importancia de las variedades primitivas y razas locales de maíz. Maizar. URL: <http://www.maizar.org.ar/vertext.php?id=275>
- Hernández-Boncalo F. (1515/1517 – 1578). <http://www.publicaciones.cucsh.udg.mx/ppperiod/esthom/esthompdf/esthom20/19-37.pdf>
- Lia, Verónica V. 2004. Diversidad genética y estructura poblacional en razas nativas de maíz (*Zea mays ssp. mays*) del Noroeste Argentino: presente y pasado del germoplasma autóctono. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3766_Lia.pdf
- Mansilla Pablo Sebastián. (2018). EVALUACIÓN DEL VALOR NUTRICIONAL DE MAÍCES ESPECIALES (*Zea mays* L.): SELECCIÓN PARA CALIDAD AGROALIMENTARIA. 2018, de Universidad Nacional de Córdoba Facultad de Ciencias Agropecuarias Sitio web:

file:///C:/Users/usuario/Downloads/Mansilla,%20P.%20S.%20Evaluaci%C3%B3n%20del%20valor%20nutricional%20de%20ma%C3%ADces%20especiales...pdf

- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca / Mercados Agropecuarios.. (2021). Zea Mays. 2021, de - Sitio web: <https://www.sinavimo.gob.ar/cultivo/zea-mays>
- Paliwal, R.L., Granados, G., Lafitte, H. R., Violic, A. D. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. FAO. URL: <http://www.fao.org/3/x7650s16.htm>
- Revilla Pedro. (2015). Ciencia para llevar Ciencia para llevar inicioarchivo Entradas etiquetadas como 'teosinte' El grano de dios o cómo los mayas domesticaron el maíz. 26 DE OCTUBRE 2015, de CSIC Sitio web: <https://blogs.20minutos.es/ciencia-para-llevar-csic/tag/teosinte/>
- Rivas, Juan Gabriel. (2015-11-13). Caracterización de la diversidad genética de razas nativas de maíz (Zea mays ssp mays) del Noroeste Argentino mediante descriptores morfométricos y marcadores moleculares. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires
file:///C:/Users/usuario/Downloads/tesis_n5900_Rivas%20(1).pdf
- USDA, FAS grain: World markets and trade, Enero 2020 <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/gea/estimaciones-nacionales-de-produccion/estimaciones>.
- Zuliani Paola, Bramardi Sergio J., 2, Lavalle Andrea 1, Defacio Raquel 3. (2012). Caracterización de poblaciones nativas de maíz mediante. Análisis de Procrustes Generalizado y Análisis. jun, 2012, de Rev. Fac. Cienc. Agrar., Univ. Nac. Cuyo Sitio web:http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652012000100005

Material suplementario:

Tabla Suplementaria. S1. Diferencia entre la floración masculina y femenina en días.

Número de planta	Días de diferencia
1	17
2	12
3	10
4	17
5	15
6	17
7	22
8	17
9	11
10	16
11	23
13	14
14	18
15	12
16	13
17	12
18	12
19	12
20	11
21	5
22	16
23	8
24	17
25	11
26	13
27	17
29	2
30	13
31	15
32	7
33	10
34	10

35	10
36	12
37	2
39	2
40	3
41	12
42	5
43	10
45	7
46	3
48	11
49	11
50	10
51	17
52	14
53	4
54	0
55	13
56	0
59	7
60	5
62	1

Tabla. Suplementaria 2 todas las espigas de todas las plantas evaluadas en conjunto con espigas separadas

	LE1	LE2	LE3	LE4	DIAME1	DIAME2	DIAME3	DIAME4	NUMH1	NUMH2	NUMH3	NUMH4
MEDIA	16,42	12,73	11,55	13,56	36,87	33,68	31,31	32,25	12,65	9,69	11,52	8,13
DESVIO	3,19	3,77	3,63	3,12	5,60	6,36	6,53	7,90	1,88	4,86	1,77	5,25
MAX	25,5	21	19	19	49,5	43,24	40,75	40,68	20	16	16	14
MIN	7,00	5,00	5,50	10,00	3,16	13,46	13,27	19,63	7,00	6,00	7,00	9,00
	NUMG/H1	NUMG/H2	NUMG/H3	NUMG/H4	TG/E1	TG/E2	TG/E3	TG/E4	TG/PLANTA	PTG	P1000	
MEDIA	29,77	21,81	17,88	21,00	378,52	261,05	207,00	264,80	486,42	96,95	278,95	
DESVIO	9,30	9,12	7,25	10,20	135,44	113,26	87,35	95,50	260,09	40,10	42,34	
MAX	53	43	36	36	756	546	360	360	1504	217,125	366,3	
MIN	6,00	7,00	5,00	6,00	60,00	56,00	50,00	140,00	60,00	4,24	213,40	

Tabla 6. TS 3 Plantas que dieron una sola espiga

1 espiga	LONG ESPIG	DIAM DE ESP	NUM HIL 1	NUM GRAN POR HIL1	TOTAL GR POR ESPIG	total de granos por planta	PESO	P1000
media	15,8	36,4	12,6	27,8	354,8	356,6	89,7	280,0
desvio	3,3	6,4	1,9	9,5	135,1	138,7	40,5	44,7
max	25,5	49,5	18,0	49,0	720,0	792,0	217,1	366,3
min	7,0	3,2	7,0	6,0	60,0	60,0	6,9	213,4

Tabla 7. TS 4 Plantas que dieron dos espigas

dos esp	LONG ESPIG	LONG2	DIAM DE ESP	DIAM 2	NUM HIL 1	NUM HIL 2	NUM GRAN POR HIL1
media	17,3	11,7	37,8	32,4	12,8	11,8	32,2
desvio	3,0	3,8	3,9	7,2	1,9	2,1	8,6
max	24,5	20,0	46,3	41,8	20,0	16,0	53,0
min	8,5	5,0	28,3	13,5	10,0	6,0	11,0
dos esp	NUM GRAN POR HIL2	TOTAL GR POR ESPIG	TOTAL GRAN /ESP2	total de granos por planta	PESO	P1000	
media	19,8	412,1	240,6	564,7	106,2	302,8	
desvio	9,5	128,4	125,4	224,2	38,9	44,5	
max	43,0	736,0	546,0	1058,0	189,6	350,4	
min	7,0	120,0	56,0	154,0	4,2	260,1	

Tabla. TS 5 Plantas que dieron tres espigas

3 espigas	LONG ESPIG	LONG2	LONG 3	DIAM DE ESP	DIAM 2	DIAM 3	NUM HIL 1	NUM HIL 2	NUM HIL 3
media	17,6	14,0	10,6	37,1	35,4	30,2	12,5	12,0	11,8
desvio	2,1	2,9	3,2	4,9	4,7	7,0	2,0	1,7	1,9
max	22,0	21,0	16,5	43,7	43,2	39,6	18,0	16,0	16,0
min	14,0	8,0	5,5	18,5	27,2	13,3	8,0	8,0	7,0
3 espigas	NUM GRAN POR HIL1	NUM GRAN POR HIL2	NUM GRAN POR HIL3	TOTAL GR POR ESPIG	TOTAL GRAN /ESP2	TOTAL GRAN/ESP3	total de granos por planta	PESO	P1000
media	34,4	23,9	16,7	432,9	287,9	197,6	794,1	114,6	262,9
desvio	6,0	7,3	6,5	118,6	90,0	87,3	243,7	35,9	25,2
max	44,0	42,0	28,0	756,0	504,0	336,0	1284,0	195,3	309,0
min	20,0	7,0	7,0	220,0	70,0	63,0	70,0	15,2	239,5

Tabla 8. TS 6 Plantas que dieron cuatro espigas

ESPIGAS	LONG ESPIG	LONG2	LONG 3	LONG 4	DIAM DE ESP	DIAM 2	DIAM 3	DIAM 4	NUM HIL 1	NUM HIL 2	NUM HIL 3	NUM HIL 4
media	16,7	15,8	14,6	13,6	36,7	35,1	34,5	32,3	12,5	11,5	11,0	10,8
desvio	3,5	3,5	3,3	3,1	2,4	2,7	4,0	7,9	1,1	1,6	1,3	1,8
max	21,0	20,0	19,0	19,0	40,1	38,3	40,8	40,7	14,0	14,0	14,0	14,0
min	11,0	10,0	10,0	10,0	32,9	31,0	28,9	19,6	11,0	8,0	10,0	9,0
ESPIGAS	NUM GRAN POR HIL1	NUM GRAN POR HIL2	NUM GRAN POR HIL3	NUM GRAN POR HIL4	TOTAL GR POR ESPIG	TOTAL GRAN /ESP2	TOTAL GRAN/ESP3	TOTAL GRAN /ESP4	total de granos por planta	PESO	P1000	
media	30,6	26,4	20,7	21,0	379,2	295,0	226,8	264,8	1033,4	86,9	271,0	
desvio	10,7	10,5	8,5	10,2	125,0	101,7	88,6	95,5	380,1	28,8	47,0	
max	46,0	41,0	36,0	36,0	552,0	444,0	360,0	360,0	1504,0	128,8	323,9	
min	16,0	12,0	5,0	6,0	220,0	144,0	50,0	140,0	414,0	44,6	227,3	