ALFA
Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias

ALFA. Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias
Mayo-agosto 2025 / Volumen 9, Número 27
ISSN: 2664-0902 / ISSN-L: 2664-0902
https://revistaalfa.org
pp. 137 - 147

Híbridos de maíz opaco (*Zea mays* L.) con alto contenido proteico para cuyes

Simple hybrids of opaque corn (Zea mays L.) with high protein content for guinea pigs

Híbridos de milho opaco (Zea mays L.) com alto teor proteico para cobayos

ARTÍCULO ORIGINAL

Escanea en tu dispositivo móvil
o revisa este artículo en:
https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v9i27.402

Edgardo Arturo Vilcara Cárdenas
eavilcara@lamolina.edu.pe

Javier Arias Carbajal
ariascj@lamolina.edu.pe

Elías Hugo Huanuqueño Coca
ehh.coca@lamolina.edu.pe

Jorge Luis Tejada
jorgetejada@lamolina.edu.pe

Fernando Jesús Passoni Telles
fpassoni@lamolina.edu.pe

Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú

Artículo recibido: 3 de junio 2025 / **Arbitrado:** 21 de julio 2025 / **Publicado:** 10 de septiembre 2025

RESUMEN

Se evaluaron 98 híbridos simples de maíz forrajero y dos testigos parentales (Opaco y Dekalb) mediante diseño látice simple 10 x 10, para identificar genotipos superiores en contenido proteico destinados a alimentación de cuyes. Los 36 mejores híbridos seleccionados por aptitud forrajera fueron analizados para determinar contenido de proteína y heterosis. Los híbridos simples 9 y 89 alcanzaron contenidos proteicos de 11.7% y 9.9% respectivamente, superando a los testigos Opaco (9.7%) y Dekalb (8.9%). La heterosis permitió incrementos de hasta 2% y 2.8% respecto a los parentales. El 5.56% de los híbridos superaron ambos testigos en contenido proteico, demostrando el potencial del vigor híbrido para mejorar la calidad nutricional del forraje destinado a crianza de cuyes.

Palabras clave: Crianza; Cuyes; Heterosis; Maíz opaco; Mejoramiento genético; Proteína

ABSTRACT

Ninety-eight single hybrids of forage corn and two parental controls (Opaco and Dekalb) were evaluated using a 10 x 10 simple lattice design to identify superior genotypes in protein content for guinea pig feeding. The 36 best hybrids selected for forage aptitude were analyzed to determine protein content and heterosis. Single hybrids 9 and 89 achieved protein contents of 11.7% and 9.9% respectively, surpassing the controls Opaco (9.7%) and Dekalb (8.9%). Heterosis allowed increases of up to 2% and 2.8% compared to parents. 5.56% of hybrids surpassed both controls in protein content, demonstrating the potential of hybrid vigor to improve nutritional quality of forage for guinea pig breeding.

Key words: Breeding; Genetic improvement; Guinea pigs; Heterosis; Opaque corn; Protein

RESUMO

Foram avaliados 98 híbridos simples de milho forrageiro e dois controles parentais (Opaco e Dekalb) usando delineamento de látice simples 10 x 10, para identificar genótipos superiores em conteúdo proteico destinados à alimentação de cobayos. Os 36 melhores híbridos selecionados por aptidão forrageira foram analisados para determinar conteúdo de proteína e heterose. Os híbridos simples 9 e 89 alcançaram conteúdos proteicos de 11.7% e 9.9% respectivamente, superando os controles Opaco (9.7%) e Dekalb (8.9%). A heterose permitiu incrementos de até 2% e 2.8% em relação aos parentais. 5.56% dos híbridos superaram ambos controles em conteúdo proteico, demonstrando o potencial do vigor híbrido para melhorar a qualidade nutricional da forragem destinada à criação de cobayos.

Palavras-chave: Criação; Heterose; Melhoramento genético; Milho opaco; Porquinhos-da-índia; Proteína

INTRODUCCIÓN

El cuy (*Cavia porcellus*) es un roedor doméstico originario de la Cordillera de los Andes, caracterizado por su alta prolificidad, rusticidad y adaptación a diferentes ambientes geográficos (1), siendo capaz de tolerar condiciones de sequías y heladas (2), además de ser poco demandante en infraestructuras costosas. Su carne es de calidad (3), rica en proteínas (20.3%) (4) y vitaminas liposolubles, con bajo contenido en grasa (5), siendo catalogada como alimento dietético y nutritivo (6). Su consumo per cápita se ha incrementado gradualmente (4), favoreciendo la recuperación de infantes ante cuadros de anemia (7) y de personas que han padecido COVID-19 (8).

El Perú es líder mundial en la producción de cuyes, con más de 20 millones de ejemplares (9), constituyendo el principal exportador hacia Estados Unidos y España, con una participación del 71.3%, seguido por Ecuador con el 28.7% (10). Sin embargo, la producción actual no satisface la demanda (11), requiriéndose criar animales que presenten mayor tamaño y precocidad (12), así como la mejora de sus cuidados y conocimientos sobre los requerimientos nutricionales (13), contribuyendo a fortalecer su crianza y alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Hambre Cero y Fin de la Pobreza, al garantizar la seguridad alimentaria y generar ingresos en beneficio de familias rurales (14).

El maíz (*Zea mays* L.) ha constituido durante milenios un cultivo fundamental, tanto en términos económicos como culturales, siendo aprovechado por las civilizaciones precolombinas (15). Constituye actualmente el cereal más cultivado a nivel mundial (16) y una fuente importante de alimento para humanos y animales por su alto contenido de carbohidratos (17). Sin embargo, aunque el maíz constituye una opción rentable y disponible para la formulación de dietas concentradas para cuyes, es deficiente en los aminoácidos esenciales lisina y triptófano, por lo que su aporte proteico es insuficiente para esta crianza (18,19).

Los estudios han permitido identificar al Quality Protein Maize (QPM), el cual posee una proteína de calidad al portar la mutación *opaque-2* (*o2*), cuyos granos poseen el doble de lisina y triptófano en relación al maíz convencional (20). Aporta además con mayores contenidos de leucina y proteínas distintas a la zeína, como son las fracciones de albúmina, globulina y glutelina, resultando en un mayor aporte proteico que favorece el desarrollo de los cuyes cuya alimentación esté basada en maíz (21).

Los híbridos de maíz (QPM) presentan ventajas sobre las variedades de polinización abierta por diversos atributos: mayor potencial de rendimiento, garantía en la pureza de semillas, mayor uniformidad y estabilidad en la

ALFA
Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias

modificación del endospermo, y menor demanda en el monitoreo de su calidad proteica durante la producción de semillas (21). Sin embargo, estas mejoras en híbridos de maíz (QPM) han priorizado el incremento de proteínas en los granos para consumo humano, pero para la crianza de cuyes es necesario un mayor contenido proteico en su forraje en estado de panoja, permitiendo una mejor digestión de su fibra, la cual debe ser mínima para garantizar su calidad cárnica (3).

Estas mejores variedades de maíz forrajero pueden obtenerse por selección, hibridación o la combinación de ambas técnicas (22), aprovechándose el vigor híbrido o heterosis, cuya magnitud depende de la diversidad genética existente en el material vegetal empleado (23). Puede alcanzarse una heterosis muy alta en híbridos obtenidos a partir de un germoplasma diverso, como los resultantes de cruzas entre especies diferentes (24).

Para el caso del Perú, al poseer aproximadamente 52 razas de maíz (25), se dispone de considerable material genético para aprovechar la heterosis en las mejoras correspondientes, como el contenido de proteínas. Aunque la producción de maíz forrajero se realiza con diferentes cultivares, es más recomendable emplear híbridos por su mayor capacidad de producción y rendimiento (26). Ante el contexto actual de escasez de agua, el maíz por ser una especie del grupo fotosintético C4, puede adaptarse ante estas condiciones ambientales, pudiendo ser considerado dentro de los sistemas alimentarios sostenibles (27).

Por esto, el objetivo de esta investigación fue evaluar y determinar en los híbridos simples resultantes de las cruzas de líneas S1 de maíz opaco por líneas S2 derivados del Dekalb, el contenido de proteína y el efecto de la heterosis sobre esta, así como identificar los híbridos con mayor contenido de proteína en estado de panoja, orientados a la crianza de cuyes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización y condiciones edafoclimáticas: El experimento fue instalado bajo condiciones de campo en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), distrito de La Molina, provincia y región Lima (12º05´06´´S, 76º59´07´´O y 238 m s.n.m.). El suelo tiene un contenido de 67% de arena, 19% de limo y 14% de arcilla, correspondiente a la clase textural franco arenoso, cuyas características químicas se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización química del suelo.

Ítem	Unidades	Valor
pH (1:1)		7.66
Conductividad Eléctrica (1:1)	dS.m-1	1.42
CaCO3	%	0.80
Materia Orgánica	%	2.43
P	ppm	18.40
K	ppm	349.00
Arena	%	67.00
Limo	%	19.00
Arcilla	%	14.00
Clase Textural		Fr.Ar.
CIC	meq.g	9.60
Ca+2	meq.g	7.62
Mg+2	meq.g	1.14
K+	meq.g	0.65
Na+	meq.g	0.19
Al+3 + H+	meq.g	0.00
Suma de Cationes	meq.g	9.60
Suma de Bases	meq.g	9.60
% Saturación de Bases	%	100.00

En relación a la calidad del agua Tabla 2, está presenta un peligro medio de salinidad, por lo cual las plantas sensibles pueden mostrar estrés a sales, lo cual no constituyó una limitante para el maíz. Asimismo, presentó un peligro de sodio bajo, pudiendo emplearse para riego de casi todos los suelos, sin peligro de destrucción estructural.

Los valores para plomo, cadmio y cromo no pudieron ser cuantificados debido a que el mínimo detectable por el espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer AAnalyst 200 es 0.01 ppm, por lo cual el agua no presentaría problemas por presencia de metales pesados y el forraje obtenido podría emplearse sin riesgo para la alimentación de cuyes.

Tabla 2. Análisis de agua.

Ítem	Unidades	Valor
pH		7.13
C.E.	dS.m-1	0.70
Calcio	meq/L	4.13
Magnesio	meq/L	0.76
Potasio	meq/L	0.22
Sodio	meq/L	2.26
SUMA DE CATIONES	meq/L	7.37

ALFA
Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias

Ítem	Unidades	Valor
Nitratos	meq/L	0.14
Carbonatos	meq/L	0.00
Bicarbonatos	meq/L	2.43
Sulfatos	meq/L	2.47
Cloruros	meq/L	1.83
SUMA DE ANIONES		6.87
Sodio %	%	30.71
RAS	%	1.45
Boro	Ppm	0.86
Clasificación		C2-S1
Plomo, Cadmio y Cromo	Ppm	N.D.
% Saturación de Bases	%	100.00

El clima de la zona de estudio es tipificado como BWh, según la escala de clasificación climática de Köppen, característico de regiones áridas con deficiencia de precipitaciones en todas las estaciones del año (28). Estas condiciones climáticas no fueron limitantes para el normal crecimiento y desarrollo del cultivo, registrándose una temperatura máxima y mínima promedio de 21.8°C y 16.8°C respectivamente.

Diseño experimental y tratamientos: El diseño experimental empleado fue Látice Simple 10 x 10 conformado por 100 tratamientos: 98 genotipos (híbridos simples) y dos testigos (Opaco y Dekalb, que también eran los parentales) y dos repeticiones.

Conducción del experimento: El manejo agronómico se realizó de acuerdo a las indicaciones para la producción comercial de maíz forrajero, realizándose la siembra el 21 de junio de 2021. Las parcelas tuvieron 18 plantas de un mismo genotipo, constituidos de tres plantas por golpe, con un total de 6 golpes, a una distancia de 40 cm entre ellos y de 80 cm entre surcos. La cosecha fue realizada el 5 de noviembre de 2021, en estado de panoja, colectando material vegetal de los dos parentales y de los 36 híbridos con mejor aptitud forrajera, que fueron seleccionados de los 98 híbridos simples iniciales.

Evaluaciones realizadas: En los 36 mejores híbridos simples seleccionados y en los dos testigos parentales (Opaco y Dekalb), el contenido de proteína fue evaluado tomándose muestras con un peso fresco aproximado de 1000 g para el análisis en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos de la UNALM, en donde cada muestra preservada fue molida a 1 mm de granulometría y convertida en harina. Posteriormente 250 g de cada muestra fue analizada siguiendo el protocolo propio del laboratorio.

En segundo lugar, se determinó la heterosis útil en la proteína de los genotipos, para lo cual se utilizaron las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1:

HU_PP1 = [(PP. HS – PP. T1) *100/ PP. T1]

Donde:

HU_PP1 = heterosis útil para proteína, en base al testigo variedad Opaco.

PP. HS = proteína del híbrido simple.

PP. T1 = proteína del testigo, variedad Opaco.

Ecuación 2:

HU_PP2 = [(PP. HS – PP. T2) *100/ PP. T2]

Donde:

HU_PP2 = heterosis útil para proteína, en base al testigo variedad DEKALB.

PP. HS = proteína del híbrido simple.

PP. T2 = proteína del testigo, variedad DEKALB.

Análisis estadístico: El análisis de datos se realizó utilizando el software estadístico R versión 4.0.4 (2021-02-15) de la R Foundation for Statistical Computing, y los paquetes *agricolae* versión 1.3-3 (29), *ggplot2* versión 3.3.3 (30) y *PerformanceAnalytics* versión 2.0.4 (31).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de la Tabla 3, permitió observar que los valores positivos muestran el efecto útil de la heterosis, al incrementar el contenido de proteína en los genotipos respecto a los progenitores Opaco y Dekalb. Se puede afirmar que, en relación al contenido de proteína de estos y los 36 híbridos simples (HS) seleccionados, el 5.56% de los híbridos simples superaron a los testigos Opaco y Dekalb en un 2% y 2.8% respectivamente. Además, el 2.78% de los HS tuvieron un contenido de proteína menor que Opaco, pero mayor que Dekalb.

En este estudio, específicamente los HS 9 y 89, alcanzaron cifras de 11.7% y 9.9% de proteína respectivamente, superando a los testigos Opaco y Dekalb, mientras que el HS 98 con un valor de 9.2% superó únicamente al testigo Dekalb.

ALFA
Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias

Tabla 3. Comparación entre medias y heterosis para porcentaje de proteína de 36 genotipos seleccionados y dos testigos: Opaco y Dekalb

Híbridos simples	Proteína en planta (%)	Heterosis Proteína Opaco	Heterosis Proteína Dekalb
9	11.7	21.55	31.50
89	9.9	2.07	10.43
Opaco	9.7	0.00	8.18
98	9.2	-4.46	3.36
Dekalb	8.9	-7.56	0.00
95	8.9	-7.56	0.00
69	8.6	-11.40	-4.15
39	8.5	-11.71	-4.48
83	8.0	-16.99	-10.20
66	7.5	-22.80	-16.48
87	7.4	-23.42	-17.15
61	7.2	-25.70	-19.62
91	7.2	-25.80	-19.73
27	7.1	-26.42	-20.40
94	6.9	-28.19	-22.31
28	6.9	-28.70	-22.87
78	6.9	-28.70	-22.87
14	6.9	-28.91	-23.09
18	6.8	-29.33	-23.54
82	6.7	-30.57	-24.89
84	6.7	-30.98	-25.34
93	6.7	-30.98	-25.34
6	6.5	-32.75	-27.24
67	6.4	-33.37	-27.91
19	6.3	-34.40	-29.04
63	6.1	-36.48	-31.28
86	6.1	-36.68	-31.50
11	5.9	-38.55	-33.52
12	5.9	-39.07	-34.08
25	5.9	-39.07	-34.08
1	5.8	-39.53	-34.59
26	5.7	-40.73	-35.87
8	5.6	-41.66	-36.88
88	5.6	-42.18	-37.44
51	5.3	-44.87	-40.36
64	5.1	-47.67	-43.39
85	5.1	-47.67	-43.39
60	4.5	-53.26	-49.44

Discusión

Este incremento en la proteína de los híbridos simples 9 y 89 se atribuye al vigor híbrido, fenómeno conocido como heterosis, técnica que ha permitido conferir superioridad en tamaño, forma, volumen, fertilidad, biomasa y calidad, entre otras características a los híbridos o descendencia, sobre uno o el valor medio de los alcanzados por los progenitores (32,33).

Los resultados obtenidos: 11.7% y 9.9% en contenido de proteína de los híbridos simples 9 y 89, son superiores e inferiores respectivamente, a los obtenidos en México en el híbrido de maíz de calidad proteínica H-553C, cuyo contenido medio de proteína fue de 9.35% (34). Los resultados de este estudio indican que el mayor contenido de proteína en los mejores híbridos fue efecto de la heterosis y el testigo Opaco, corroborando la importancia de los maíces nativos en la agricultura, ya que estos permiten generar programas de mejoramiento específicos con fines particulares (35).

En este caso, se aprovecharía el perfil nutricional del maíz Opaco para incrementar el contenido proteico en los híbridos obtenidos, para su aprovechamiento como forraje destinado a la crianza de cuyes, lo cual contribuiría a que sus crías alcancen un mayor peso al destete y reduzcan su tiempo de engorde, conllevando a una reducción en los costos de alimentación, menor tiempo de ocupación de las pozas de crianza, una optimización de la mano de obra y mayor rentabilidad para los productores.

CONCLUSIONES

El cruce de las líneas S1 de maíz opaco por líneas S2 derivados del Dekalb, permitió una ganancia en contenido proteico de hasta 2% y 2.8% respecto a las variedades testigo y parentales Opaco y Dekalb respectivamente.

La heterosis tuvo un efecto útil en el 5.56% de los híbridos, que sería efecto del parental opaco, al superar en contenido proteico a ambos testigos; además, un 2.8% de los híbridos mostró valores intermedios, superando a Dekalb, pero resultando por debajo del testigo Opaco.

Los híbridos simples 9 y 89 alcanzaron contenidos de proteína de 11.7% y 9.9% superando a los testigos Opaco y Dekalb, como las líneas proteicas más promisorias orientadas a la crianza de cuyes.

CONFLICTO DE INTERESES. Los autores declaran que no existe conflicto de intereses para la publicación del presente artículo científico.

REFERENCIAS

1. Hidalgo-Lozano V, Zevallos-Delgado L. Uso de forraje de morera (*Morus alba* L.) y maíz chala (*Zea mays* L.) en la alimentación de cuyes (*Cavia porcellus* L.) en crecimiento: Comparación entre una dieta convencional con otra no convencional suplementados con concentrado. Agroindustrial Science. 2024;14(3):247-252. https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/agroindscience/article/view/6124/6217

2. Loa G, Saavedra D, Gomez J, Sulca F, Gómez-Urviola N. Forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare*) y maíz (*Zea mays*) en la dieta de cuyes machos (*Cavia porcellus*) en recría, Andahuaylas, Perú. Actas Iberoamericanas de Conservación Animal AICA. 2021; 16:72-76. https://www.researchgate.net/profile/Nilton-Cesar-Urviola/publication/355728547

3. Aronés R, Béjar E, Quispe M, Loayza C, Gómez J, Anaya M. Unconventional ingredients for organic meat production of guinea pig (*Cavia porcellus*) in ayacucho, Perú. XLII Reunión Científica de la Asociación Mexicana para la Producción Animal y Seguridad Alimentaria. 2015; AC (AMPA):341. https://www.researchgate.net/profile/Jaime-Sanchez-13/publication/384678106

4. Tello L, Mendoza R, Alejos I, Cotrina G. Alimentación de cuyes con harina de papa como sustituto del maíz amarillo y alfalfa. Revista Alfa. 2023;7(19):130-138. https://revistaalfa.org/index.php/revistaalfa/article/view/243/622

5. Argote F, Velasco R, Paz P. Estudio y tiempos para la obtención de la carne de cuy (*Cavia porcellus*) empacado al vacío. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 2007; 2:103-111.

6. Flores E, Rivera M, Mejía L. Efectividad del consumo de carne de cuy en la disminución de anemia en niños de 3-5 años - Jardín N° 073 del Centro Poblado Menor de La Esperanza, Amarilis - Huánuco, 2014. Universidad Nacional Hermilio Valdizán UNHEVAL. 2014. https://hdl.handle.net/20.500.13080/485

7. Huamaní F, Amaya M. La carne de Cuy como tratamiento potencial para la recuperación de pacientes post Covid en la provincia de Huancayo-Perú. Universidad Privada de Huancayo Franklin Roosevelt. 2022.

8. Agencia Agraria de Noticias "AGRARIA". Perú cuenta con más de 20 millones de cuyes. 2023. https://agraria.pe/noticias/peru-cuenta-con-mas-de-20-millones-de-cuyes-33500

9. Taipe C, Corilla D, Ventura A, Espinoza G. La Crianza de Cuy y Procesamiento Con Fines de Exportación en la Provincia de Acobamba. Dom Cien. 2021;7(3):1659-1679. http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i3

10. Cuenca M, Quinteros W, Flores F, Campos N. Impacto de forraje hidropónico y microorganismos eficientes en cuyes: Parámetros productivos, hematológicos y bioquímicos nutricionales. Revista Alfa. 2023;7(21):573-582. https://revistaalfa.org/index.php/revistaalfa/article/view/298/780

11. Tapie W, Posada-Ochoa S, Rosero-Noguera J, Muñoz-Tamayo R. Desarrollo de un modelo dinámico mecanicista para predecir el crecimiento de cuyes (*Cavia porcellus*) machos del genotipo Perú. Rev Acad Colomb Cienc Exactas Fis Nat. 2024;48(189):859-870. https://raccefyn.co/index.php/raccefyn/article/view/desarrollo-de-un-modelo-dinamico-mecanicista-para-predecir-el-cr/4485

12. Castro B, Chirinos P, Quijada-Caro E. Digestible and metabolizable energy prediction models in guinea pig feedstuffs. Journal of Applied Animal Research. 2022;50(1):355-362. https://doi.org/10.1080/09712119.2022.2079647

13. Benavides B, Cisneros-López H, Peláez-Sánchez R. Evidencia molecular de *Leptospira interrogans* sensu stricto en *Cavia porcellus* (cuyes) destinados para el consumo humano en el municipio de Pasto, Nariño. Universidad y Salud. 2021;24(1):55-64. https://doi.org/10.22267/rus.222401.258

14. Naranjo A. Memorias de la XXV Reunión Latinoamericana de Maíz: IXIM "Maíz, lo que sustenta la vida". Archivos Académicos USFQ. 2024; 54:77-77. https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/archivosacademicos/article/view/3399

15. Noriega-Navarrete J, Salazar-Moreno R, López-Cruz I. Revisión: modelos de crecimiento y rendimiento de maíz en escenarios de cambio climático. Rev Mex De Cienc Agric. 2021;12(1):127-140. https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2552

16. Soto M. Aprovechamiento de residuos del maíz (*Zea mays*) en la industria: Revisión bibliográfica. RIVAR (Santiago). 2024;11(31):212-229. https://doi.org/10.35588/rivar.v10i31.5980

17. Gonzalez-Nuñez D, Pineda-Hidalgo K, Salazar-Salas N, Lopez-Valenzuela J. Mechanisms associated with endosperm modification in quality protein maize. Biotecnia. 2023;25(2):79-89. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v25i2.1905

18. Vega-Álvarez E, Pineda-Hidalgo K, Salazar Salas N, Soto-López O, Canizalez-Roman V, Garzón-Tiznado J, et al. Genetic and molecular analysis of starch physicochemical properties and its relationship with endosperm modification in quality protein maize. Biotecnia. 2022;24(3):140-149. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i3.1725

19. Hernández-Rodríguez M, Babu R, Skinner D, Palacios-Rojas N, Martins M, García-Zavala J, et al. Desarrollo de marcadores para mejoramiento de maíz con proteína de calidad y estudio de interacción entre los genes Opaco-2 Y Ask2. Revista Fitotecnia Mexicana. 2022;45(3):293-302. https://doi.org/10.35196/rfm.2022.3.293

20. Maqbool M, Beshir Issa A, Khokhar E. Quality protein maize (QPM): Importance, genetics, timeline of different events, breeding strategies and varietal adoption. Plant Breeding. 2021;140(3):375-399. https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/pbr.12923

21. Díaz-Juárez D, Castillo-González F, Santacruz-Varela A, Gómez-Montiel N, García-Zavala J, Muñoz-Orozco A. Aptitud combinatoria de variedades y heterosis de cruzas intervarietales divergentes de maíz de grano amarillo. Ecosistemas y recursos agropecuarios. 2023;10(3). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-90282023000300001&script=sci_arttext

22. Ndhlela T, Herselman L, Semagn K, Magorokosho C, Mutimaamba C, Labuschagne M. Relationships between heterosis, genetic distances and specific combining ability among CIMMYT and Zimbabwe developed maize inbred lines under stress and optimal conditions. Euphytica. 2015; 204:635–647. https://doi.org/10.1007/s10681-015-1353-z

23. Ouyang Y, Li X, Zhang Q. Understanding the genetic and molecular constitutions of heterosis for developing hybrid rice. Journal of Genetics and Genomics. 2022;49(5):385-393. https://doi.org/10.1016/j.jgg.2022.02.022

24. Huanuqueño H. Desarrollo de híbridos simples de maíz popcorn morado mediante métodos convencionales. Universidad Nacional Agraria La Molina. 2023. https://repositorio.lamolina.edu.pe/server/api/core/bitstreams/37bf761c-7459-45b0-8af5-6f2e1615215c/content

25. Vásquez H, Santillán B, Gómez J. Efecto de dos arreglos de siembra y variedades de maíz chala (*Zea mays* L.) en el rendimiento forrajero. Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería. 2016;1(1). https://www.researchgate.net/publication/321152814

26. Gonzales F. La agricultura y la alimentación en el centro de los 17 ODS. Universidad Politécnica de Cartagena. Cartagena, España. 2021. https://repositorio.upct.es/server/api/core/bitstreams/12e10bbc-b5ae-45c0-a921-3331fbd4f0ec/content

27. Arnfield A. Köppen climate classification. Encyclopedia Britannica. 2020. https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification

28. Felipe de Mendiburu. agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.3-3. 2020. https://CRAN.R-project.org/package=agricolae

29. Wickham H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York. 2016. https://ggplot2.tidyverse.org

30. Peterson B, Carl P, Boudt K, Bennett R, Ulrich J, Zivot E, et al. Package 'performanceanalytics'. R Team Cooperation. 2018; 3:13-14.

31. Herridge R, Macknight R, Brownfield L. Prospects for F1 hybrid production in ryegrass. New Zealand Journal of Agricultural Research. 2020;63(3):405-415. https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/00288233.2018.1559867

32. Singh D, Singh A, Singh A. Plant breeding and cultivar development. Academic Press. 2021. https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=f5rgDwAAQBAJ

33. Sierra M, Palafox A, Cano O, Rodríguez F, Espinosa A, Turrent A, et al. H-553C, híbrido de maíz de calidad proteínica para el trópico húmedo de México. Revista Fitotecnia Mexicana. 2004;27(1):117-119. https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/1232/1188

34. Cervantes-Adame Y, Rebolloza-Hernández H, Broa-Rojas E, Olvera-Velona A, Bahena-Delgado G. Efectos de heterosis en poblaciones nativas de maíz y sus cruzas F1. Biotecnia. 2020;22(3):11-19. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i3.992

35. Sierra M, Palafox A, Cano O, Rodríguez F, Espinosa A, Turrent A, et al. H-553C, híbrido de maíz de calidad proteínica para el trópico húmedo de México. Revista Fitotecnia Mexicana. 2004;27(1):117-119. https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/1232/1188