

CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA Y VARIABILIDAD FENOTÍPICA DE COLECTAS NATIVAS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) DEL SUR DE PARAGUAY

Miranda, D.; Cardozo, G.; Arenas, C.

dpmiranda@facaf.uni.edu.py; gacardozo@uni.edu.py; cearenas@uni.edu.py

Universidad Nacional de Itapúa, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, sede General Artigas

AGRONOMIC CHARACTERIZATION AND PHENOTYPIC VARIABILITY OF NATIVE MAIZE (*Zea mays* L.) LANDRACES FROM SOUTHERN PARAGUAY

Abstract: The study was conducted at the General Artigas branch of the Faculty of Agricultural and Forestry Sciences (FaCAF-UNI), Paraguay, to evaluate the agronomic characterization and phenotypic variability of ten local landraces of commercial 'Avati Morotĩ' maize (*Zea mays* L.). The trial was arranged in a randomized complete block design (RCBD) with four replications. Ten agronomic, morphological, and yield variables were evaluated. Analysis of variance revealed highly significant differences ($p < 0.01$) among landraces for most evaluated traits, with coefficients of variation ranging from 1.58% to 19.26%, demonstrating high interpopulational phenotypic diversity. The Scott-Knott clustering test ($\alpha = 0.01$) identified superior landraces in terms of grain yield (Col 009: 3.317,67 kg/ha, Col 003: 2.993,07 kg/ha y Col 008: 2.862,21 kg/ha). Diversity was also observed in crop phenology (days to male and female flowering) and plant architecture (plant height, ear placement height, and leaf area). This reservoir of genetic variability in native 'Avati Morotĩ' populations forms a solid foundation for both in situ/ex situ conservation strategies.

Palabras Clave: *Zea mays*, razas locales, recursos fitogenéticos, variabilidad morfo-agronómica.

Keywords: *Zea mays*, local landraces, plant genetic resources, morpho-agronomic variability.

Introducción

El maíz es un cultivo representativo en Paraguay, íntimamente ligado a la cultura, la alimentación y la economía de los sistemas de producción familiar. En el contexto productivo nacional coexisten dos sectores claramente diferenciados: por un lado, los agricultores de subsistencia, que utilizan materiales locales estables, bajo nivel de insumos y manejo predominantemente manual o con tracción animal; por otro, los productores de mediana y gran escala, orientados al comercio o al consumo animal mediante mecanización e híbridos o materiales mejorados (Salhuana y Machado, 1999).

El acervo fitogenético del país integra diez razas nativas de maíz, entre las cuales destaca el *avati morotĩ*, ampliamente extendido en fincas de pequeños productores por su valor en la alimentación humana (Noldin Almirón, 2016). La conservación de estos materiales se realiza habitualmente mediante la reserva artesanal de semillas, el intercambio entre agricultores o la compra local (Machado, 2013).

La preservación y caracterización de estas razas locales resulta imprescindible no solo por su arraigo cultural, sino como una fuente estratégica de variabilidad genética para el mejoramiento agrícola. Rasgos clave como la adaptación local, la arquitectura de

planta, la fenología y el rendimiento pueden ser aprovechados para desarrollar nuevos materiales adaptados a entornos específicos. Por ello, estudiar detalladamente la variabilidad entre sus poblaciones permite profundizar en la diversidad fenotípica y genética regional, optimizando la conservación y el uso racional de estos recursos genéticos nativos (Herrera Cabrera et al., 2000).

Por tanto, el presente estudio tuvo como objetivo caracterizar agronómicamente y evaluar la variabilidad fenotípica de muestras de maíz nativo *avati morotĩ* colectadas en diferentes regiones ecogeográficas del Paraguay, con el fin de generar información útil para la conservación, selección y mejoramiento genético de materiales nativos de maíz.

Materiales y métodos

Material genético, diseño experimental y manejo del cultivo

El material genético consistió en 10 maíces nativos colectados durante el 2022 en los departamentos de Itapúa, Caazapá y Caaguazú, Paraguay (Figura 1). Las muestras se encuentran almacenadas en la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales, sede General Artigas, de la Universidad Nacional de Itapúa.

El estudio se estableció durante agosto 2022 a febrero de 2023, en finca de productor, situada en la compañía Potrerito, distrito de General Artigas, departamento de Itapúa, República del Paraguay. La finca se encuentra a 138 msnm. El clima es de tipo tropical seco y húmedo, con veranos muy calurosos y lluviosos e inviernos templados y secos; la temperatura media anual oscila por los 21°C en el sureste de la región Oriental (Pastén, 2009). Las precipitaciones promedias anuales en esta región superan los 1.800 mm (Pastén et al., 2011), son máximas en los meses que van de octubre a marzo y suelen registrarse en forma de tormentas o chaparrones (Pastén et al., 2007). Para este ensayo se registró un total de 660 mm de lluvia desde agosto de 2022 hasta febrero de 2023 (Figura 2). El suelo es de textura franco arenosa de origen arenisca y corresponde a la clasificación *Rhodic Paleudult* (López Gorostiaga et al., 1995).

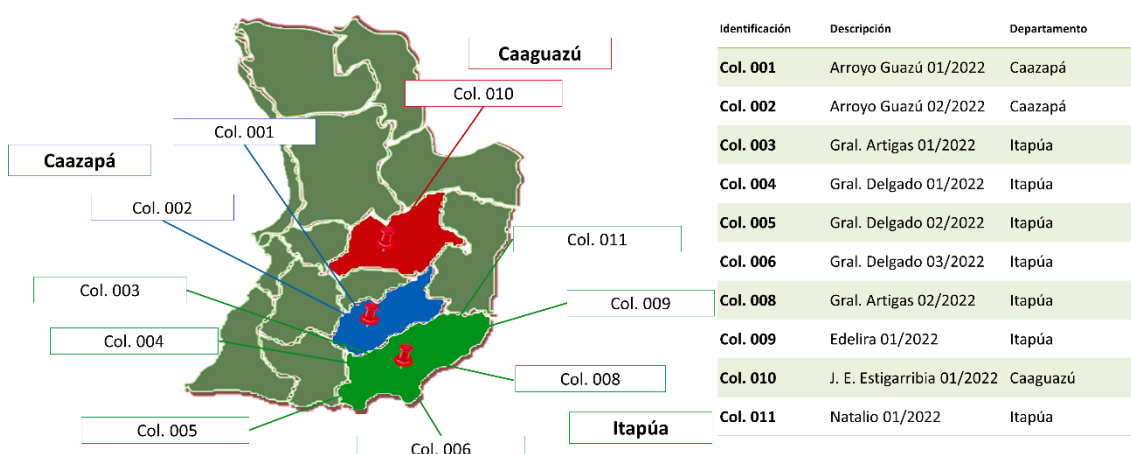


Figura 1. Ubicación geográfica y procedencias de los sitios de colecta de materiales de maíz en la Región Oriental, Paraguay.

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con diez tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en 10

muestras de *avati morotí*, colectadas en diferentes puntos del país. De las colectas identificadas originalmente con códigos Col 001 a Col 011, se seleccionaron diez materiales para la evaluación experimental; la colecta Col 007 no fue incluida debido a pérdida del material. La unidad experimental fue una parcela de cuatro hileras de 5,00 m de longitud y 2,40 m de ancho. Las hileras se separaron a 0,80 m entre hileras y 0,25 m entre plantas, equivalente a una densidad de 50 000 pl/ha. Se utilizó como área útil las dos hileras centrales en toda su longitud, siendo la superficie de 8,40 m².

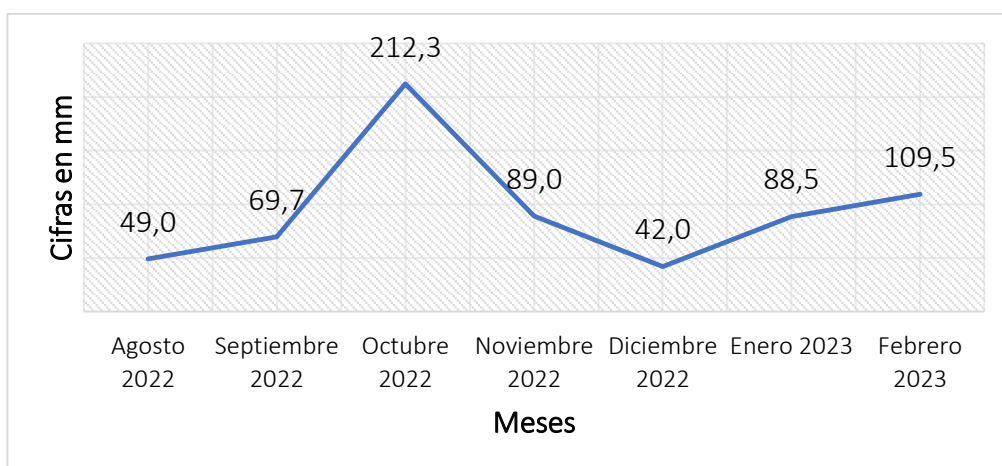


Figura 2. Precipitación promedio (mensual) durante la primavera (agosto, septiembre, octubre y noviembre 2022) y verano (diciembre, enero y febrero 2023) en el periodo de estudio de maíz. General Artigas, Itapúa 2022/23.

La superficie experimental se preparó con una pasada de rastra ligera. Como abonos verdes de invierno se sembraron lupino y avena negra; dos semanas antes de la siembra se realizó el rolado de los abonos verdes y la parcela fue desecada con glifosato a razón de 2 L/ha. Las semillas fueron tratadas con una suspensión concentrada para tratamiento de semilla compuesta por Imidacloprid 10,5%, Thiodicarb 30%, MO 2% e ingredientes inertes 57,5%. La dosis aplicada fue de 2.000 mL/100 kg de semilla. La siembra del ensayo se realizó de forma manual el 30 de agosto de 2022, colocando dos semillas por hoyo y dejando posteriormente una planta por hoyo mediante raleo. La cosecha se efectuó el 1 de febrero de 2023. La fertilización básica se aplicó con la formulación 04-30-10 a una dosis de 200 kg/ha, colocada en hoyos a aproximadamente 10 cm de las plántulas y cubierta posteriormente. La fertilización de cobertura consistió en urea (45-00-00) a 150 kg/ha, aplicada en bandas laterales sobre suelo húmedo al costado de las hileras. Durante el ciclo del cultivo se realizaron labores de deshierba manual (carpidas). El control de *Spodoptera frugiperda* se manejó con aplicaciones de clorpirifos.

Variables evaluadas y metodología utilizada

Floración masculina (FM, días). Se registró la fecha en que el 50% de las plantas de la parcela útil presentó anteras con polen. El número de días hasta FM se contó desde la fecha de emergencia de las plántulas.

Floración femenina (FF, días). Se registró la fecha en que el 50% de las plantas de la parcela útil presentó estigmas expuestos. El número de días hasta FF se contó desde la fecha de emergencia de las plántulas.

Sincronía floral (SF, días). Se calculó como la diferencia entre FF y FM.

Altura de mazorca (AM, cm). Se midió en una muestra de seis plantas por parcela útil, al inicio de la madurez fisiológica. Se tomó la distancia desde el nivel del suelo hasta el nudo de la mazorca más alta.

Altura de planta (AP, cm). En la misma muestra de seis plantas empleada para AM, se midió la distancia desde el nivel del suelo hasta el ápice de la panoja.

Área foliar (AFol, cm²). En las mismas seis plantas se midió la longitud y el ancho de la hoja del nudo de la mazorca superior. La longitud se midió desde la inserción de la lígula hasta el ápice de la lámina; el ancho se midió de borde a borde en la mitad de la longitud. El área foliar se estimó como: Área (cm²) = largo × ancho × 0,75, de acuerdo a Montgomery, citado por Elings (2000).

Diámetro de tallo (DT, cm). Se midió con calibre en el punto medio del primer entrenudo emergente del suelo.

Número de hojas por encima de la mazorca (NHAM). Después del estado lechoso se registró el número de hojas situadas por encima de la mazorca principal, incluida la hoja de la mazorca, en una muestra de seis plantas por parcela útil.

Masa de 1.000 granos (M1000, g). De las mazorcas cosechadas y desgranadas se pesaron 100 granos seleccionados al azar; el peso obtenido se multiplicó por 10 para estimar la masa de 1.000 granos. Los valores se ajustaron al 13% de humedad.

Rendimiento de grano (RG, kg/ha). Se determinó desgranando y pesando las mazorcas para obtener el peso parcelario en gramos. La humedad de los granos se midió en la cosecha con un equipo Mini GAC DICKEY-John®, ajustando el resultado final al 13% de humedad mediante la fórmula:

Rendimiento (kg/ha) = [(Peso parcelario en g / área útil en m²) × 10 × (100 – Hum) / 87]

donde Hum es el porcentaje de humedad de los granos medido en la cosecha.

Análisis estadístico

Los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) para determinar el efecto de las colectas sobre las variables evaluadas. Previamente se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Cuando se detectaron diferencias significativas, las medias fueron agrupadas mediante la prueba de Scott-Knott, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,01$. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando InfoStat® (Di Rienzo, 2021).

Resultados y discusión

El factor colecta presentó efecto significativo sobre las diez variables fenotípicas evaluadas, con diferencias estadísticas para floración masculina, floración femenina, sincronía floral, altura de mazorca, altura de planta, área foliar, diámetro de tallo, número de hojas arriba de la mazorca, masa de 1.000 granos y rendimiento de grano (Tabla 1).

Los coeficientes de variación oscilaron entre 1,58% para floración femenina y 19,26% para rendimiento de grano, valores que en general reflejan una precisión experimental adecuada, especialmente para los caracteres de ciclo y estructura de planta. En contraste, la sincronía floral y el rendimiento exhibieron los mayores CV, lo que es esperable debido a su mayor sensibilidad a la interacción genotipo por ambiente y a la heterogeneidad inherente de los materiales nativos. Resultados similares fueron reportados por (González-Castro, 2013), quienes señalaron que la diversidad del maíz está fuertemente influenciada por el origen geográfico y por las condiciones ambientales



Tabla 1. Cuadrados medios de los análisis de varianza y coeficiente de variación (CV) de diez materiales de maíz evaluados en Paraguay

Fuente de variación	GL	FM (días)	FF (días)	SF (días)	AM (cm)	AP (cm)	AFol (cm ²)	DT (cm)	NHAM (N°)	M1.000 (g)	RG (kg/ha)
Colecta	9	114,77 **	140,94 **	2,49 **	1832,53 **	2589,94 **	34673,87 **	0,11 **	0,56 **	1.575,29 *	925.184,31 **
Bloque	3	7,40	4,87	0,33	132,79	155,08	1081,00	0,01	0,33	483,20	174.729,83
Error	27	2,34	2,18	0,33	49,73	66,97	1802,27	0,01	0,06	678,50	227.069,27
CV (%)		1,70	1,58	17,50	5,65	3,19	6,61	5,28	3,81	10,69	19,26

FM y FF: días a floración masculina y femenina, SF: sincronía floral, AM y AP: altura de mazorca y de planta, AFol: área foliar, DT: diámetro de tallo, NHAM: número de hojas arriba de la mazorca, M1.000 masa de mil granos, RG: rendimiento de grano. ** y *: significancia estadística ($p \leq 0.01$) y ($p \leq 0.05$).

de colecta, observando además una mayor diversidad entre razas que dentro de ellas. En el mismo sentido, la variabilidad fenotípica encontrada en este estudio respalda la existencia de materiales diferenciados.

Precocidad y características de desarrollo

El grupo de colectas más tardías (Col 001, 002, 004, 005 y 006) presentaron los valores más altos de floración masculina y femenina, mientras que Col 010 registró los menores valores, evidenciando materiales más precoces. Col 009 destacó por su mayor altura de planta y rendimiento de grano, mientras que, en altura de mazorca, área foliar y diámetro de tallo mostró valores intermedios a bajos. Para número de hojas por encima de la mazorca, no se observaron diferencias marcadas entre la mayoría de las accesiones, aunque Col 009 y Col 006 tendieron a presentar valores superiores. Las colectas Col 009, Col 003 y Col 008 presentaron los mayores rendimientos de grano, sin diferencias significativas entre ellas. Estos resultados confirman la existencia de variabilidad fenotípica entre las accesiones de *avati morotĩ* evaluadas, con materiales precoces, intermedios y de mayor ciclo.

Las colectas evaluadas mostraron una marcada variación fenotípica en su ciclo vegetativo, arquitectura y desarrollo foliar. En cuanto a la floración, las diferencias en precocidad y sincronía floral concuerdan con la madurez tardía y los elevados requerimientos térmicos característicos de la raza *avati morotĩ* y otros maíces harinosos (Galeano Vera y Miranda, 2016; Salhuana y Machado, 1999). Asimismo, la amplia variación observada en altura de planta y mazorca, diámetro del tallo y número de hojas superiores evidencia contrastes asociados a la genética y la adaptación local de cada germoplasma (Ángeles-Gaspar, 2010; Linares-Holguín, 2019; Machado Correa, 2018). Finalmente, las diferencias en área foliar resultan determinantes para el vigor vegetativo y el rendimiento (Yepez Chilo, 2005), destacando que los materiales con mayor número de

Tabla 2. Características agronómicas (medias) de diez materiales de maíz evaluados en Paraguay

	FM	FF	SF	AM	AP
Col 001	95,00 a	98,50 a	3,50 a	146,50 a	271,36 a
Col 002	94,25 a	97,50 a	3,25 a	134,44 b	258,23 b
Col 003	88,75 b	92,00 b	3,25 a	123,73 b	262,65 b
Col 004	94,50 a	98,00 a	3,50 a	134,23 b	266,11 b
Col 005	92,50 a	96,50 a	4,00 a	130,81 b	266,44 b
Col 006	93,75 a	96,75 a	3,00 a	128,98 b	259,86 b
Col 008	89,75 b	93,25 b	3,50 a	123,08 b	258,88 b
Col 009	86,75 b	90,50 b	3,75 a	133,83 b	279,34 a
Col 010	77,25 c	78,50 c	1,25 b	67,09 c	187,00 c
Col 011	89,50 b	93,50 b	4,00 a	125,27 b	259,34 b

FM y FF: días a floración masculina y femenina, SF: sincronía floral, AM y AP: altura de mazorca y de planta.

Letras distintas en las columnas indican diferencia significativa (Scott & Knott, $p \leq 0.01$) entre materiales para cada característica.

Tabla 3. Características agronómicas (medias) de diez materiales de maíz evaluados en Paraguay (continuación)

	AFol	DT	NHAM	M1.000	RG
Col 001	716,02 a	2,45 a	7,13 a	231,22 a	1758,35 b
Col 002	701,32 a	2,38 a	7,00 a	222,21 a	2135,34 b
Col 003	650,11 b	2,17 b	6,50 b	255,66 a	2993,07 a
Col 004	647,29 b	2,22 b	7,21 a	241,42 a	2035,40 b
Col 005	710,56 a	2,28 b	6,92 a	240,40 a	2131,70 b
Col 006	666,34 b	2,37 a	6,79 a	254,58 a	2572,35 b
Col 008	633,99 b	2,20 b	6,37 b	272,93 a	2862,21 a
Col 009	612,54 b	2,19 b	6,42 b	270,88 a	3317,67 a
Col 010	396,22 c	1,85 c	6,04 c	212,46 a	2423,23 b
Col 011	689,89 a	2,18 b	6,55 b	234,76 a	2507,36 b

AFol: área foliar, DT: diámetro de tallo, NHAM: número de hojas arriba de la mazorca, M1.000 masa de mil granos, RG: rendimiento de grano.

Letras distintas en las columnas indican diferencia significativa (Scott & Knott, $p \leq 0.01$) entre materiales para cada característica.



50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

hojas en el tercio superior disponen de una mayor capacidad fotosintética durante el llenado de grano, ya que esta sección aporta aproximadamente el 50% de los carbohidratos en la fase reproductiva (Fassio, 1998).

Rendimiento de grano y sus componentes

El análisis evidenció un comportamiento relativamente homogéneo en la masa de 1.000 granos entre accesiones, lo que concuerda con antecedentes en maíces harinosos donde las variaciones suelen ser limitadas o no significativas (Machado, 2013; Miranda et al., 2019). Este parámetro, indicativo del tamaño y densidad del grano (Billeb Solis, 1997; García Jiménez y Vázquez Ch., 2016), posee importancia industrial dado que una mayor proporción de endospermo incrementa el rendimiento harinero (Mauricio Sánchez et al., 2004). Por otro lado, se registró una amplia variabilidad en el rendimiento de grano, atribuible a diferencias en la adaptación del ciclo de cada población ante las condiciones ambientales del ensayo, lo que ratifica la marcada interacción genotipo por ambiente en variedades amiláceas (García Mendoza et al., 2021). Tales contrastes en productividad entre materiales nativos son consistentes con reportes previos en la literatura (Ángeles-Gaspar et al., 2010; Castillo Mendoza, 2018; Gamarra Sánchez et al., 2020; Machado, 2013) y responden principalmente a la variación en el número de granos fijados por superficie, componente altamente sensible al ambiente en comparación con el peso individual del grano (Andrade et al., 1996).

Conclusiones

A pesar de haberse realizado en una sola localidad y ciclo agrícola, el estudio demostró una marcada variabilidad fenotípica entre las accesiones de maíz nativo *avati morotí* de la Región Oriental del Paraguay, registrando diferencias altamente significativas en su desarrollo, precocidad y rendimiento. En cuanto al ciclo vegetativo, la accesión Col 010 destacó por su precocidad y menor porte de planta y mazorca, en contraste con materiales tardíos y de mayor desarrollo vegetativo como Col 001, Col 002 y Col 004. Por su parte, el rendimiento de grano exhibió una amplia dispersión, sobresaliendo las colectas Col 009 (3.317,67 kg/ha), Col 003 (2.993,07 kg/ha) y Col 008 (2.862,21 kg/ha). Esta amplia diversidad agronómica resalta el valor estratégico de este germoplasma local como fuente de variabilidad genética para la conservación, la selección, el mejoramiento y el fortalecimiento de los sistemas de producción familiar.

Apoyo financiero

Este estudio contó con el apoyo financiero de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales (FaCAF-UNI), Universidad Nacional de Itapúa.

Referencias bibliográficas

Andrade, F.; Cirilo, A.; Uhart, S.; Otegui, M. 1996. Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial La Barrosa, Balcarce, Argentina.

Ángeles-Gaspar, E.; Ortiz-Torres, E.; López, P.A.; López-Romero, G. 2010. Caracterización y rendimiento de poblaciones de maíz nativas de Molcaxac, Puebla. Revista Fitotecnia Mexicana 33(4):287-296.

Castillo Mendoza, J.L. 2018. Comportamiento agronómico de once accesiones de maíz amiláceo altiplánico (*Zea mays* L.), bajo condiciones del distrito de Tiabaya-Arequipa. Tesis de Grado. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.





50 AÑOS
PENSANDO
EL FUTURO

XIII
CONGRESO
NACIONAL
DE MAÍZ

Cuba Maidana, L.B.; Carreras Llamosas, M.L. 2020. Caracterización morfoagronómica de la población nativa AMYatyty05 de maíz harinoso (*Zea mays* L. var. *amylacea*). Tesis de Grado. Universidad Nacional de Itapúa, Natalio, Paraguay.

Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; González, L.; Tablada, M.; y Robledo, C. W. (2021). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Fassio, A.; Carriquiry, A.I.; Tojo, C.; Romero, R. 1998. Maíz: Aspectos sobre fenología. INIA, Montevideo, Uruguay.

Galeano Vera, M.E.; Miranda, D.P. 2016. Densidad poblacional en dos variedades de maíz harinoso (*Zea mays* var. *amylacea*) en el distrito de General Artigas. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Itapúa, General Artigas, Paraguay.

Gamarra Sánchez, G.; Munive Cerrón, R.; Munive Yachachi, Y.; Azabache Leytón, A.; Sevilla Panizo, R.; Lapa Chanca, A. 2020. Comportamiento de poblaciones de maíz amiláceo de la variedad Blanco del Cusco en el valle del Mantaro, Perú. Agroindustrial Science 10(3):279-286.

García Mendoza, P.J.; Medina Castro, D.E.; Prieto Rosales, G.P.; Manayay Sánchez, D.; Ortecho Llanos, R. 2021. Comportamiento agronómico de variedades de maíz amiláceo tradicionales y mejoradas evaluadas en diferentes ambientes de Tayacaja. Llamkasun 2(1):121-143.

González-Castro, M.E.; Palacios-Rojas, N.; Espinoza-Banda, A.; Bedoya-Salazar, C.A. 2013. Diversidad genética en maíces nativos mexicanos tropicales. Revista Fitotecnia Mexicana 36(3):329-338.

Linares-Holguín, O.O.; Rocandio-Rodríguez, M.; Santacruz-Varela, A.; López-Valenzuela, J.Á.; Córdova-Téllez, L.; Parra-Terraza, S.; Leal-Sandoval, A.; Maldonado-Mendoza, I.E.; Sánchez-Peña, P. 2019. Caracterización fenotípica y agronómica de maíces (*Zea mays* ssp. *mays* L.) nativos de Sinaloa, México. Interciencia 44(7):421-428.

Machado Correa, V.; Arenas, C.; Miranda, D. 2018. Depresión por endogamia en líneas S1 generadas de 14 poblaciones nativas de maíz harinoso. Revista sobre Estudios e Investigaciones del Saber Académico 12(12):88-99.

Machado, V. 2013. Productividad y adaptabilidad de cultivares de maíz harinoso *avati morotí*. Investigación Agraria 15(2):75-81.

Miranda, D.; Galeano Vera, M.E.; Machado, V.; Arenas, C. 2019. Caracteres de planta y de mazorca en dos cultivares de maíz harinoso bajo diferentes densidades de población en el distrito de General Artigas. CA–UPH, Hohenau, Paraguay.

Noldin Almirón, O.J. 2016. Variabilidad fenotípica y molecular de poblaciones paraguayas de maíz. Tesis de Doctorado. Universidad de Vigo, Pontevedra, España.

Noldin, O.; Machado, V. 2004. Variación genética entre y dentro de razas de maíz (*Zea mays* L.) en Paraguay. MAG/ DIA/ CRIA, Capitán Miranda, Paraguay.

Pastén, M. 2009. Caracterización de la sequía en Paraguay usando el índice estandarizado de precipitación (IEP). s.e., San Lorenzo, Paraguay.

Salhuana, W.; Machado, V. 1999. Razas de maíz en Paraguay: Consideraciones en la organización y utilización de los recursos genéticos de maíz. Departamento de Agricultura de Estados Unidos y Programa de Investigación de Maíz del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Paraguay, Estados Unidos de América.

Yepez Chilo, E. 2005. Caracterización morfológica y evaluación fenológica de sesenta y cinco entradas de maíz (*Zea mays* L.) del Banco de Germoplasma del Cica -K'ayra- Cusco. Tesis de Grado. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Perú.

