

EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y CONTENIDO DE ANTOCIANINAS EN MAÍZ MORADO (*Zea mays* L.) TIPO KCULLI EN VALLE DE SANTA CRUZ, BOLIVIA

Agronomic evaluation and anthocyanin content of kculli-type purple maize (*Zea mays* L.) in the Valleys of Santa Cruz, Bolivia

Víctor Choque Colque¹, José Padilla Ayala²

2026 | Vol.13(2) | ISSN 2518 – 6868 | Recibido: [24/06/2026] · Aceptado: [24/08/2026] · Publicado: [29/09/2026]
<https://doi.org/10.53287/riarn.2m749>

RESUMEN

El maíz morado (*Zea mays* L.) constituye un recurso fitogenético de interés agronómico y nutracéutico debido a su contenido de antocianinas y compuestos fenólicos con actividad antioxidante. El objetivo de la investigación fue evaluar las características agronómicas, fenológicas, sanitarias y el contenido de antocianinas de seis variedades de maíz morado tipo Kculli establecidas en los valles del departamento de Santa Cruz, Bolivia, durante la campaña agrícola verano 2023/2024. El estudio tuvo carácter descriptivo y exploratorio. Se evaluaron variables fenológicas, morfológicas, componentes de rendimiento, sanidad vegetal, coloración del grano y contenido de antocianinas totales e individuales en grano y coronta. Los resultados evidenciaron amplia variabilidad entre variedades. La floración masculina ocurrió entre 56 y 62 días después de la siembra y la cosecha entre 123 y 135 días. Moragro registró el mayor rendimiento de grano (6.921,4 kg ha⁻¹), seguida por Omereque (6.625,1 kg ha⁻¹) y Aratical (6.617,9 kg ha⁻¹). Se identificó la presencia de *Spodoptera frugiperda*, *Helicoverpa zea*, *Exserohilum turcicum*, *Fusarium* sp., *Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp. La coloración del grano presentó tonalidades negras, moradas y rojizas. La concentración de antocianinas totales osciló entre 42 y 154 mg 100 g⁻¹ en grano y entre 330 y 561 mg 100 g⁻¹ en la coronta (marlo), concentrándose el 82,7% en este último tejido. Ipati presentó el mayor contenido de antocianinas en grano y Moragro en marlo. Se concluye que las variedades Ipati, Moragro y Aratical destacaron por su comportamiento agronómico y potencial fitoquímico, constituyéndose en materiales promisorios para programas de conservación, producción y aprovechamiento agroindustrial en los valles de Santa Cruz.

Palabras clave: maíz morado, variedades, rendimiento, antocianinas.

ABSTRACT

Purple corn (*Zea mays* L.) is a plant genetic resource of agronomic and nutraceutical importance due to its high content of anthocyanins and phenolic compounds with antioxidant activity. The objective of this study was to evaluate the agronomic, phenological, sanitary, and anthocyanin characteristics of six Kculli-type purple corn varieties established in the valleys of the Department of Santa Cruz, Bolivia, during the 2023/2024 summer growing season. The study was descriptive and exploratory in nature. Phenological, morphological, yield-related, plant health, grain color, and total and individual anthocyanin variables were assessed in both kernels and cobs. The results revealed considerable variability among varieties. Male flowering occurred between 56 and 62 days after sowing, while harvest maturity ranged from 123 to 135 days. Moragro recorded the highest grain yield (6,921.4 kg ha⁻¹), followed by Omereque (6,625.1 kg ha⁻¹) and Aratical (6,617.9 kg ha⁻¹). The presence of *Spodoptera frugiperda*, *Helicoverpa zea*, *Exserohilum turcicum*, *Fusarium* sp., *Penicillium* sp., and *Aspergillus* sp. was identified during the evaluation period. Grain coloration ranged from black and purple to reddish tones. Total anthocyanin concentration varied from 42 to 154 mg 100 g⁻¹ in kernels and from 330 to 561 mg 100 g⁻¹ in cobs, with 82.7% of the total anthocyanins concentrated in the cob tissue. Ipati exhibited the highest anthocyanin content in kernels, whereas Moragro showed the highest concentration in cobs. It is concluded that Ipati, Moragro, and Aratical combined favorable agronomic performance with high anthocyanin content, making them promising materials for conservation, production, and agro-industrial utilization programs in the valleys of Santa Cruz.

Keywords: purple corn, varieties, yield, anthocyanins

¹ Dirección de Investigación, Ciencia, Innovación y Tecnología (DICIT), Instituto de Investigaciones Agrícolas El Vallecito, Facultad de Ciencias Agrícolas, Doctorado en Investigación Transdisciplinaria, Unidad de Postgrado Ichilo, Facultad Integral de Ichilo, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, Santa Cruz, Bolivia. Email: victorchoque@uagrm.edu.bo . ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3450-2663> .

² Investigador. Email: jopaay69@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4449-7235> .

INTRODUCCIÓN

El maíz morado (*Zea mays* L.) ha adquirido creciente importancia mundial debido a su elevado contenido de antocianinas y compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y nutraceuticas. Su utilización se ha expandido hacia las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética, principalmente como fuente natural de pigmentos y alimentos funcionales, incrementando el interés científico y comercial por variedades pigmentadas originarias de América Latina (Lao & Giusti, 2018; Salvador-Reyes & Clerici, 2020). En Sudamérica, el maíz morado constituye además un recurso agrícola y cultural estrechamente vinculado con pueblos indígenas andinos desde épocas prehispánicas.

En Bolivia, las variedades nativas de maíz morado forman parte de sistemas tradicionales de producción, intercambio y alimentación de comunidades campesinas e indígenas, especialmente en valles interandinos y zonas del Chaco boliviano, donde el cultivo mantiene valor ceremonial, alimentario y simbólico asociado a prácticas ancestrales y conservación de la agrobiodiversidad (Ortiz, 2012; Nogales-Ascarrunz et al., 2021). La diversidad genética del maíz boliviano está organizada en nueve complejos raciales (INIAF, 2020), destacándose los complejos Chaqueño (avati) y Harinoso del Valle (kculli), con importante representación de maíces pigmentados conservados en bancos de germoplasma nacionales.

En este contexto, el maíz morado tipo Kculli se cultiva predominantemente en los valles interandinos de Cochabamba, Chuquisaca, Potosí y Santa Cruz, con adaptación a diferentes condiciones edafoclimáticas y sistemas tradicionales de producción (Sánchez & Castro, 2023). Estos materiales presentan amplia variabilidad en coloración, ciclo fenológico, rendimiento y contenido de antocianinas, constituyéndose en recursos genéticos de interés para la conservación y el mejoramiento genético (Cuevas Montilla et al., 2011; Ortiz, 2012).

Las antocianinas constituyen los principales pigmentos responsables de la coloración morada, azul y negra del maíz morado, destacándose por su elevada capacidad antioxidante y potencial preventivo frente a enfermedades degenerativas.

En Bolivia, los estudios sobre antocianinas en maíz morado aún son limitados en comparación con Perú y México; sin embargo, investigaciones recientes evidencian importante variabilidad en contenido de compuestos fenólicos y pigmentos antocianicos entre cultivares nativos (Cuevas Montilla et al., 2011; Rabanal-Atalaya & Medina-Hoyos, 2021). Estas diferencias resaltan el potencial nutraceutico, alimentario e industrial del germoplasma boliviano.

Bolivia y, particularmente, el departamento de Santa Cruz presenta condiciones agroecológicas favorables para la producción de maíz. Sin embargo, la producción de maíz morado tipo Kculli enfrenta limitaciones asociadas a bajos rendimientos, mezcla varietal de semillas y limitada información técnica. Asimismo, existe escasa información sobre su comportamiento agronómico, fenológico y contenido de antocianinas en los valles y cordillera de Santa Cruz. La generación de conocimiento científico contribuye a la conservación, caracterización, valorización y aprovechamiento sostenible de estos recursos genéticos, fortaleciendo su potencial productivo, nutraceutico y su inserción en cadenas de valor diferenciadas (Claure et al., 2011; Miranda Meraz, 2025; González Regalado et al., 2025).

Ante esta situación y considerando el potencial edafoclimático de los valles de Santa Cruz, la Universidad Autónoma Gabriel René Moreno, a través del Instituto de Investigaciones Agrícolas El Vallecito (IIA El Vallecito) y del Proyecto Maíz Morado, desarrolla investigaciones orientadas a la caracterización, conservación y valorización de recursos genéticos nativos de interés agronómico y nutraceutico. En este marco, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar las características agronómicas, fenológicas, sanitarias y fitoquímicas de variedades de maíz morado tipo Kculli establecidas en la zona de valle del departamento de Santa Cruz, incluyendo la cuantificación del contenido de antocianinas en grano y coronta (marlo) durante la campaña agrícola verano 2023/2024.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación, preparación de suelo, semilla, siembra y cosecha

Las parcelas de evaluación de la campaña agrícola verano 2023/2024 se establecieron en diferentes

localidades de la zona de valle de Santa Cruz (Tabla 1). La preparación del suelo se realizó mediante labranza convencional, considerando las condiciones edafoclimáticas y prácticas tradicionales de manejo de los productores locales.

Tabla 1. Procedencia de la semilla, municipio y localidad de evaluación, altitud, fecha de siembra, variedad, superficie establecida y fecha de cosecha; estudio de maíz morado, verano 2023/2024.

Procedencia de la semilla	Municipio	Localidad	Altitud aproximada (m s.n.m.)	Fecha de siembra	Variedad	Área	Fecha de cosecha
Yotala, Chuquisaca	Samaipata	Hacienda Tuma	1630	15/12/2023	Yotala	375 m ²	23/4/2024
Pasorapa, Cochabamba	Samaipata	Valle Abajo	1396	15/12/2023	Trigoloma	375 m ²	27/3/2024
Omereque, Cochabamba	Quirusillas	Alto Quirusillas	1728	28/12/2023	Omereque	375 m ²	27/4/2024
Lagunillas, Santa Cruz	Samaipata	Hacienda Tuma	1630	9/1/2024	Ipati	375 m ²	16/5/2024
Córdoba, Argentina	Samaipata	Valle Abajo	1396	9/1/2024	Moragro	375 m ²	16/5/2024
Lagunillas, Santa Cruz	Quirusillas	Río Abajo	1475	10/1/2024	Aratical	400 m ²	17/5/2024

La semilla de maíz morado fue recolectada durante 2023 en localidades de los valles interandinos de Cochabamba y Chuquisaca, así como en zonas de valle y cordillera de Santa Cruz. Posteriormente, el material fue seleccionado, acondicionado y conservado para su establecimiento en campo. Además, se incluyó la variedad Moragro, procedente de la Universidad de Córdoba, como material de referencia.

El estudio fue descriptivo y exploratorio, por lo que no se aplicó un diseño experimental ni pruebas de comparación estadística. Las variedades se establecieron en diferentes localidades para su caracterización agronómica, fenológica, sanitaria y fitoquímica. Debido a que los materiales se evaluaron en condiciones agroecológicas distintas y sin una estructura experimental común, los resultados se analizaron descriptivamente y deben interpretarse como una caracterización de materiales.

La siembra se realizó manualmente con sembradoras de golpe ("matracas"), previa desinfección de la semilla con Carbendazim + Thiram + Carbofuran (CTC), a razón de 300 ml por 100 kg de semilla. El cultivo se estableció a 0,70 m entre surcos y 0,25 m entre golpes. La cosecha se efectuó manualmente a la madurez fisiológica; posteriormente, las mazorcas

fueron identificadas, acondicionadas y trasladadas al IIA El Vallecito para su evaluación agronómica y fitoquímica.

Labores culturales agrícolas realizadas

- Raleo, aporque y fertilización:** El raleo se realizó entre 20 y 25 días después de la siembra, eliminando plántulas de menor vigor para establecer aproximadamente 57.000–58.000 plantas ha⁻¹. Posteriormente, se efectuó el aporque para mejorar la fijación de las plantas y reducir el acame. La fertilización se realizó conjuntamente, aplicando urea a razón de 150 kg ha⁻¹.
- Manejo de insectos plaga y patógenos:** Durante el verano 2023/2024 se registró la presencia de *Spodoptera frugiperda*, *Spodoptera exigua* y *Helicoverpa zea*. Para su control se aplicó lambdacialotrina + tiametoxam en mezcla con Metomil, seguido de Fipronil y Clorpirifos. Asimismo, se observó la presencia de *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard & Suggs, además de *Fusarium* sp., *Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp. asociados al deterioro sanitario del grano almacenado.

Registro de datos

a) Datos climáticos

Los datos de precipitación y temperatura fueron obtenidos de registros del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2024) y PROFEL (2024). Durante el verano 2023/2024, la precipitación acumulada osciló entre 350 y 499,9 mm y, entre enero y mayo de 2024, la temperatura media varió entre 16,8 y 22,5 °C. Esta información permitió caracterizar las condiciones ambientales durante el ciclo del cultivo (Aguilar et al., 2017; FAO, 2018; INIA, 2019).

b) Condiciones edáficas

Los suelos de las localidades evaluadas presentaron fertilidad media, con pH entre 6,15 y 8,06, correspondiente a condiciones ligeramente ácidas a moderadamente alcalinas. Se registraron bajos contenidos de materia orgánica y nitrógeno total, con texturas desde franco arcillo arenoso hasta arcillo arenoso. Esta información permitió caracterizar las condiciones edáficas de los ambientes de evaluación (Aguilar et al., 2017; INIA, 2019).

c) Variables agronómicas

Los datos agronómicos se registraron en planillas adaptadas al Proyecto Maíz Morado del IIA El Vallecito, tomando como referencia los descriptores

y lineamientos metodológicos del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 1991) y Perdomo (2023). Se evaluaron variables de fenología, crecimiento, componentes de rendimiento, características morfológicas y comportamiento sanitario.

Los días a floración masculina y femenina, ciclo del cultivo, acame de tallo y raíz se registraron a nivel de parcela para cada variedad. La altura de planta, inserción de mazorca, diámetro de mazorca y coronta (marlo), número de hileras por mazorca y granos por hilera se evaluaron en 40 plantas por variedad. El peso de 100 granos y rendimiento se determinaron en cuatro muestras por variedad, ajustando este último al 13% de humedad. Finalmente, la coloración del grano se evaluó mediante clasificación visual y cuantificación porcentual de las tonalidades observadas.

Preparación de muestras para análisis de antocianinas

Después de la cosecha y evaluación de los componentes de rendimiento, las mazorcas fueron seleccionadas y clasificadas por variedad. Se realizó el desgrane manual, separando grano y marlo, que fueron envasados e identificados individualmente. Se prepararon muestras de 0,5 kg por variedad para el análisis de antocianinas, según los códigos presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Códigos de identificación de muestras de grano (G) y marlo (M) de maíz morado enviadas al Centro de Investigaciones Químicas S.R.L. para el análisis de antocianinas.

No	Variedad	Código (Marlo)	Localidad	No	Código (Grano)
1	Moragro	2.2.	Valle Abajo	7	B.7.
2	Yotala	2.3.	Samaipata	8	B.3.
3	Aratical	2.4.	Quirusillas	9	B.5.
4	Ipati	2.5	Samaipata	10	B.1.
5	Omereque	2.6.	Quirusillas	11	B.9.
6	Trigoloma	2.8.	Valle Abajo	12	B.10

Análisis de antocianinas

La determinación de antocianinas totales e individuales en muestras de grano y coronta (marlo) fue realizada por el Centro de Investigaciones Químicas S.R.L., mediante el método diferencial de pH y cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC), respectivamente (Giusti &

Wrolstad, 2001; Lao & Giusti, 2018).

a) Metodología de análisis de antocianinas totales por colorimetría

Las antocianinas totales se determinaron mediante el método diferencial de pH, basado en cambios

estructurales reversibles bajo diferentes niveles de acidez. Las muestras fueron secadas, trituradas y extraídas con etanol al 20%, seguidas de agitación, baño ultrasónico, filtración y centrifugación. Los extractos se analizaron espectrofotométricamente a 520 y 700 nm, expresando los resultados como equivalentes de cianidina-3-glucósido (Sánchez & Castro, 2023).

b) Metodología de análisis de antocianinas individuales por cromatografía líquida (HPLC)

Las antocianinas individuales se cuantificaron mediante HPLC, con una determinación analítica por muestra. Se utilizó una columna C18 de fase reversa y solventes orgánicos acidificados. Las muestras fueron secadas, trituradas, extraídas con etanol al 20% y clarificadas mediante filtración y centrifugación. Los extractos se inyectaron al sistema HPLC, empleando cianidina-3-glucósido como estándar de referencia para identificar y cuantificar los compuestos antociánicos (Lao & Giusti, 2018).

Tabulación y presentación de datos

Los datos de campo, gabinete y laboratorio fueron sistematizados en hojas de cálculo de Microsoft Excel.

Para las variables con repeticiones se calcularon promedio, desviación estándar y coeficiente de variación; para aquellas con una sola observación se presentaron los valores registrados.

Los resultados se organizaron en tablas y figuras para facilitar su interpretación y análisis descriptivo, siguiendo procedimientos utilizados en investigaciones agronómicas exploratorias (Di Rienzo et al., 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características agronómicas

a) Días a floración y ciclo del cultivo

Las variedades evaluadas presentaron variación en floración y duración del ciclo. La floración masculina ocurrió entre 56 y 62 días después de la siembra (dds), la femenina entre 60 y 67 dds y la cosecha entre 123 y 135 dds. Omereque y Trigoloma registraron los ciclos más cortos, mientras que Yotala presentó el más prolongado. En promedio, las variedades alcanzaron la madurez de cosecha a los 130 dds (Tabla 3).

Tabla 3. Días a floración (M y F), ciclo y fenología del cultivo registrado en el estudio de maíz morado, zona de valle de Santa Cruz, verano 2023/2024.

Variedades	Días a floración (M)	Días a floración (F)	Días a cosecha	Altura de planta (cm)	Altura de mazorca (cm)	Acame de tallo (%)	Acame de Raíz (%)
Ipati	61	65	128	194,4	121,3	2	5
Yotala	62	67	135	207,3	140,8	3	5
Aratical	60	64	130	227,8	140,9	1	1
Moragro	62	66	128	201,1	110,1	1	1
Omereque	56	60	133	239,7	131,4	2	5
Trigoloma	58	64	123	185,7	98,1	10	40
Promedio	60	64	130	209,3	123,8	3	10
D.E.	2,4	2,4	4,2	25,8	22,8	3,4	15,1
C.V.%	--	--	--	12,3	18,4	--	--

Nota: CV calculado para altura de planta y mazorca donde n=40.

Los valores de floración masculina (56–62 dds), floración femenina (60–67 dds) y ciclo a cosecha (123–135 dds) registrados en la presente investigación fueron similares a los reportados por Guzmán (2019), Lara (2022) y Mamani (2021), quienes registraron floraciones entre 53 y 84 dds y ciclos de hasta 180 días en maíces morados

cultivados en Bolivia. Asimismo, Ortiz (2012) e INIAF (2020) señalan que la duración de las etapas fenológicas en maíces nativos está determinada por la interacción entre factores genéticos y ambientales.

Medina-Hoyos et al. (2020), Rabanal-Atalaya y Medina-Hoyos (2022), Villca et al. (2022), Silva-Díaz et al. (2025) y Salhuana y Pollak (2006) reportaron amplia variabilidad fenológica en maíces morados cultivados en diferentes ambientes de América Latina. En este estudio, las variedades registraron un promedio de 130 días a cosecha, inferior al reportado para algunos maíces morados de los valles interandinos de Bolivia, evidenciando diferencias en la duración del ciclo bajo las condiciones agroecológicas de los valles de Santa Cruz.

b) Altura de planta e inserción de mazorca

La Tabla 3 muestra que Aratical y Yotala presentaron las mayores alturas de inserción de mazorca, con 140,9 y 140,8 cm, respectivamente, mientras que Trigoloma registró 98,1 cm. En altura de planta, Omereque presentó el mayor promedio (239,7 cm), seguido de Aratical (227,8 cm), y Trigoloma el menor (185,7 cm).

Los valores de altura de planta (185,7–239,7 cm) e inserción de mazorca (98,1–140,9 cm) fueron similares a los reportados por Guzmán (2019), Mamani (2021) y Villca et al. (2022), con alturas de 155–239 y 74–130 cm, respectivamente. Asimismo, Medina-Hoyos et al. (2020), Rabanal-Atalaya y Medina-Hoyos (2022) y García et al. (2026) registraron valores de 180–250 y 80–155 cm, respectivamente, en maíces morados cultivados en Perú.

Según Ortiz (2012) e INIAF (2020), las diferencias en altura de planta e inserción de mazorca de los maíces nativos están asociadas principalmente a factores genéticos y ambientales, lo que explicaría parte de la diversidad morfológica observada entre las variedades evaluadas.

c) Acame de tallo y raíz

El acame varió entre las variedades evaluadas. Trigoloma registró los mayores valores, con 10% de acame de tallo y 40% de raíz, mientras que Aratical y Moragro presentaron valores cercanos al 1% en ambos casos (Tabla 3). Estos resultados evidencian diferencias en la estabilidad de las variedades frente al volcamiento.

Ortiz (2012) señaló que diversos maíces nativos de Bolivia presentan susceptibilidad al acame, condición que puede afectar la estabilidad del cultivo y dificultar la cosecha. De manera similar, Villca et al. (2022) reportaron mayor tendencia al volcamiento en materiales con elevada altura de planta e inserción de mazorca. Sin embargo, Trigoloma registró la mayor incidencia de acame pese a su menor altura, sugiriendo la influencia de otros factores, como el sistema radical, la resistencia del tallo y las condiciones edáficas.

Pérez et al. (2021) reportaron acame de raíz entre 5 y 35 % en maíces morados cultivados en Perú, mientras que Ccacca et al. (2023) y Salinas-Moreno et al. (2021) relacionaron esta característica con diferencias en la arquitectura vegetal y resistencia radicular. En este estudio, el 40 % de acame de raíz registrado en Trigoloma evidencia su menor estabilidad frente al volcamiento respecto a las demás variedades evaluadas.

d) Diámetro de mazorca y coronta (marlo)

El diámetro de mazorca y coronta (marlo) varió entre las variedades evaluadas. Omereque y Aratical presentaron los mayores diámetros de mazorca, con 4,9 y 4,8 cm, respectivamente, mientras que Yotala y Trigoloma registraron 4,1 cm. En diámetro de coronta (marlo), Moragro alcanzó el mayor valor (2,8 cm) y Yotala el menor (2,1 cm) (Tabla 4).

Los diámetros de mazorca (4,1–4,9 cm) y coronta (marlo) (2,1–2,8 cm) fueron similares a los reportados por Guzmán (2019), Mamani (2021) y Villca et al. (2022), quienes registraron diámetros de mazorca entre 3,0 y 5,3 cm. Ortiz (2012) e INIAF (2020) señalan que estas características morfológicas están influenciadas por factores genéticos y ambientales.

Vázquez-Carrillo et al. (2018) reportaron diámetros de mazorca entre 4,2 y 5,1 cm en maíces pigmentados de México, mientras que Ramos-Escudero et al. (2019) registraron diámetros de coronta (marlo) entre 2,1 y 3,0 cm en variedades peruanas. Según Hsu et al. (2022), ambas características están asociadas al desarrollo de la mazorca y al potencial productivo del cultivo.

e) Longitud de mazorca

La longitud de mazorca mostró variación entre las variedades evaluadas, con valores promedio entre 11,9 y 17,9 cm. Aratical alcanzó la mayor longitud, con 17,9 cm, mientras que Yotala registró el menor valor, con 11,9 cm (Tabla 4).

Los valores de longitud de mazorca (11,9–17,9 cm) fueron similares a los reportados por Guzmán (2019), Mamani (2021) y Villca et al. (2022), quienes registraron longitudes entre 11,4 y 19,5 cm. Asimismo, Pinedo et al. (2017) reportaron valores entre 12,9 y 13,8 cm asociados, entre otros factores, al nivel de fertilización, evidenciando la variabilidad de esta característica en maíz morado.

Tabla 4. Valores promedios de componentes de rendimiento registrado en el estudio de maíz morado, zona de valle de Santa Cruz, verano 2023/2024.

Variedades	Diámetro de mazorca (cm)	Diámetro de coronta (cm)	Longitud de mazorca (cm)	Hileras por mazorca	Granos por hilera	Peso de 100 granos (g)	Rendimiento en kg/ha
Ipati	4,4	2,3	15,4	10,8	29,1	33,2	5100,0
Yotala	4,1	2,1	11,9	13,3	27,4	27,9	3157,1
Aratical	4,8	2,7	17,9	13,2	32,5	32,2	6617,9
Moragro	4,4	2,8	17,2	13,2	34,0	29,5	6921,4
Omereque	4,9	2,6	12,4	12,3	26,4	45,7	6625,1
Trigoloma	4,1	2,2	12,5	11,4	23,1	32,0	4189,3
Promedio	4,5	2,5	14,6	12,3	28,7	33,4	5435,1
D.E.	0,5	0,4	3,4	2,0	6,2	6,0	1492,6
C.V. %	11,2	16,3	23,4	16,2	21,6	18,0	27,5

Nota: CV calculado para las variables de la mazorca donde n=40 y para peso de 100 granos y rendimiento donde n=4.

De manera similar, INIA (2018), Quispe et al. (2023) y Vázquez-Carrillo et al. (2020) reportaron longitudes entre 12 y 20 cm en maíces morados cultivados en Perú y México, comparables a las obtenidas en este estudio. Según Ortiz (2012) e INIAF (2020), esta característica está influenciada principalmente por factores genéticos y ambientales relacionados con el desarrollo de los componentes de rendimiento.

f) Número de hileras por mazorca

El número de hileras por mazorca varió entre las variedades evaluadas, con promedios entre 10,8 y 13,3. Yotala, Aratical y Moragro alcanzaron los mayores valores, entre 13,2 y 13,3 hileras, mientras que Ipati registró el menor promedio, con 10,8 hileras por mazorca (Tabla 4).

Los valores de número de hileras por mazorca (10,8–13,3) fueron similares a los reportados por Ortiz (2012), Guzmán (2019), Mamani (2021) y Villca et al. (2022), quienes registraron entre 10 y 16 hileras por mazorca en maíces morados cultivados en Bolivia. Estos antecedentes muestran una variabilidad comparable a la observada en los materiales evaluados en Santa Cruz.

De manera similar, Salinas-Moreno et al. (2013), Cereceres et al. (2020) y Rabanal-Atalaya y Medina-Hoyos (2022) reportaron entre 10 y 16 hileras por mazorca en maíces pigmentados de México y Perú, rangos comparables a los obtenidos en este estudio y que evidencian variabilidad morfológica entre materiales.

g) Número de granos por hilera

El número de granos por hilera varió entre 23,1 y 34,0. Moragro registró el mayor promedio, con 34,0 granos, seguida de Aratical con 32,5, mientras que Trigoloma presentó el menor valor, con 23,1 granos por hilera (Tabla 4).

Estos resultados fueron similares a los reportados por Nogales-Ascarrunz et al. (2021), con un promedio de 26 granos por hilera en maíces nativos bolivianos. Mamani (2021) encontró valores entre 22 y 31 granos, mientras que Villca et al. (2022) reportaron entre 29 y 34. Asimismo, Lara (2022) registró entre 19,2 y 27,7 granos por hilera en diferentes épocas de siembra en Santa Cruz, evidenciando la influencia ambiental sobre esta característica.

Rabanal-Atalaya et al. (2022) reportaron entre 25 y 38 granos por hilera en cultivares peruanos de maíz morado, mientras que Velásquez-Cardelas et al. (2021) registraron entre 22 y 38 granos en maíces pigmentados de México y Perú. En este estudio, Moragro presentó valores cercanos al límite superior reportado. Según Hatfield y Prueger (2015), las altas temperaturas durante la floración pueden reducir la viabilidad del polen y afectar la formación de granos, influyendo en este componente del rendimiento.

h) Peso de 100 granos

El peso de 100 granos varió entre las variedades evaluadas, con promedios entre 27,9 y 45,7 g. Omereque alcanzó el mayor peso promedio, con 45,7 g, mientras que Yotala registró el menor valor, con 27,9 g (Tabla 4).

Los valores de peso de 100 granos (27,9–45,7 g) fueron comparables a los reportados por Vilca et al. (2022) y superiores a los descritos por Guzmán (2019), quienes registraron entre 20,5 y 33,7 g en maíces morados evaluados en diferentes ambientes de Bolivia. Estos antecedentes evidencian la variabilidad de este componente de rendimiento entre variedades y condiciones de cultivo.

De manera similar, Salinas-Moreno et al. (2013), Romero-Cortes et al. (2022) y Rabanal-Atalaya y Medina-Hoyos (2022) reportaron pesos de 100 granos entre 28 y 56,9 g en maíces morados de México y Perú, comparables a los obtenidos en este estudio. Según Romero-Cortes et al. (2022), esta característica constituye uno de los principales componentes asociados al rendimiento y a la calidad física del grano.

i) Rendimiento de grano

El rendimiento de grano varió entre 3.157,1 y 6.921,4 kg ha⁻¹. Moragro alcanzó el mayor promedio, con 6.921,4 kg ha⁻¹, seguido de Omereque y Aratical, con 6.625,1 y 6.617,9 kg ha⁻¹, respectivamente; mientras que Yotala registró el menor valor, con 3.157,1 kg ha⁻¹ (Tabla 4).

Los rendimientos obtenidos (3.157,1–6.921,4 kg ha⁻¹) fueron superiores a los reportados por Ortiz (2012) y Carvallo (2019) para maíces morados cultivados en los valles interandinos de Bolivia, con valores entre 0,7 y 1,4 t ha⁻¹. Asimismo, Guzmán (2019), Lara (2022) y Vilca et al. (2022) informaron rendimientos entre 1,31 y 4,82 t ha⁻¹ en diferentes ambientes de Santa Cruz. Las variedades evaluadas alcanzaron un promedio de 5,4 t ha⁻¹, evidenciando su variabilidad productiva.

De manera similar, Nazar y Mansilla (2016) reportaron 3,4 t ha⁻¹ para Moragro en Argentina, mientras que Medina-Hoyos et al. (2020), Rabanal-Atalaya y Medina-Hoyos (2022), Romero-Cortes et al. (2022) y Orizano-Ponce et al. (2024) registraron rendimientos entre 3,4 y 10 t ha⁻¹ en maíces morados cultivados en Argentina, Perú y otros ambientes andinos, comparables a los obtenidos por las variedades de mejor desempeño en este estudio.

Según Hatfield y Prueger (2015), Salinas-Moreno et al. (2013), Romero-Cortes et al. (2022) y Orizano-Ponce et al. (2024), el rendimiento del maíz morado está determinado por la interacción entre genotipo, ambiente

y manejo agronómico, además de componentes como longitud de mazorca, número de granos por hilera y peso de grano. En este estudio, Moragro, Aratical y Omereque registraron los mayores rendimientos, asociados respectivamente con mayor número de granos por hilera, longitud de mazorca y peso de 100 granos. Asimismo, Ipati presentó valores intermedios en estos componentes, contribuyendo a un rendimiento superior al promedio general.

j) Presencia de insectos plaga, patógenos y aves

Durante la campaña agrícola verano 2023/2024 se registró la presencia de *Spodoptera frugiperda*, *Spodoptera exigua* y *Helicoverpa zea*, insectos que ocasionaron daños en hojas, cogollo y mazorcas de las variedades evaluadas. Asimismo, durante los estados reproductivos R3 y R4 se observó la presencia de aves, principalmente loros, que provocaron pérdidas parciales de grano por consumo directo de las mazorcas. Estos organismos constituyeron los principales factores bióticos observados durante el desarrollo del cultivo.

Los resultados coinciden con Ortiz (2012), quien señala que los maíces morados nativos de Bolivia presentan susceptibilidad a diversas plagas que pueden afectar su productividad. Asimismo, Lara (2022) reportó la presencia recurrente de *Spodoptera frugiperda* en Santa Cruz, mientras que Romero-Cortes et al. (2022) y Coutiño-Estrada et al. (2020) identificaron a *S. frugiperda* y *Helicoverpa zea* como principales plagas asociadas al cultivo. Flores-Armillas et al. (2020) también reportaron pérdidas de grano ocasionadas por aves.

Durante el llenado de grano se observó helmintosporiosis asociada a *Exserohilum turcicum* (Pass.) Leonard & Suggs, afectando el área foliar de las variedades evaluadas. Medina-Hoyos et al. (2020) señalaron que condiciones de elevada humedad favorecen el desarrollo de esta enfermedad en maíz morado. Asimismo, Rabanal-Atalaya y Medina-Hoyos (2022) reportaron diferencias en tolerancia sanitaria entre cultivares, mientras que Salinas-Moreno et al. (2013) atribuyen esta variabilidad a factores genéticos y ambientales.

En almacenamiento postcosecha se identificó *Fusarium* sp., además de *Penicillium* sp. y *Aspergillus* sp. en menor proporción. Resultados similares fueron reportados por Medina-Hoyos et al. (2020), Salvador-Reyes y Clerici (2020) y Huamán et al. (2023), quienes asociaron estos hongos con condiciones inadecuadas de humedad y ventilación.

Asimismo, Guzmán (2019) registró estos patógenos en Santa Cruz, coincidiendo con los descritos para zonas productoras de maíz morado de Bolivia y Perú.

k) Coloración del grano

La coloración del grano mostró marcada variabilidad entre las variedades evaluadas, con diferencias en la intensidad y distribución de los pigmentos. Ipati y Aratical presentaron los mayores porcentajes de granos negros, con 95% y 60%, respectivamente, mientras que Yotala registró 16,2%. Omereque y Moragro mostraron predominancia de granos morados, con 77% y 39%, respectivamente, mientras que Yotala presentó 77% de granos rojizos (Figura 1).

La variabilidad de color observada coincide con lo reportado por Cuevas Montilla et al. (2011), Ortiz (2012) y Nogales-Ascarrunz et al. (2021), quienes señalaron que la tonalidad e intensidad de la pigmentación en

maíces morados bolivianos están estrechamente relacionadas con la acumulación de antocianinas y otros compuestos fenólicos. De manera similar, Guzmán (2019) reportó una amplia diversidad cromática en la variedad Moragro cultivada en Santa Cruz, evidenciando la variabilidad existente entre materiales nativos y seleccionados.

Medina-Hoyos et al. (2020), Aguilar-Hernández et al. (2019), Li et al. (2017) y Salinas-Moreno et al. (2013, 2020) señalaron que las tonalidades negras y moradas del maíz están asociadas con una mayor acumulación de antocianinas y su distribución en el pericarpio y otros tejidos del grano. En este estudio, Ipati y Aratical presentaron los mayores porcentajes de granos negros, mientras que Omereque y Moragro mostraron predominancia de granos morados. Estos resultados sugieren una mayor acumulación de compuestos antocianínicos en dichos materiales, posteriormente corroborada mediante los análisis fitoquímicos.

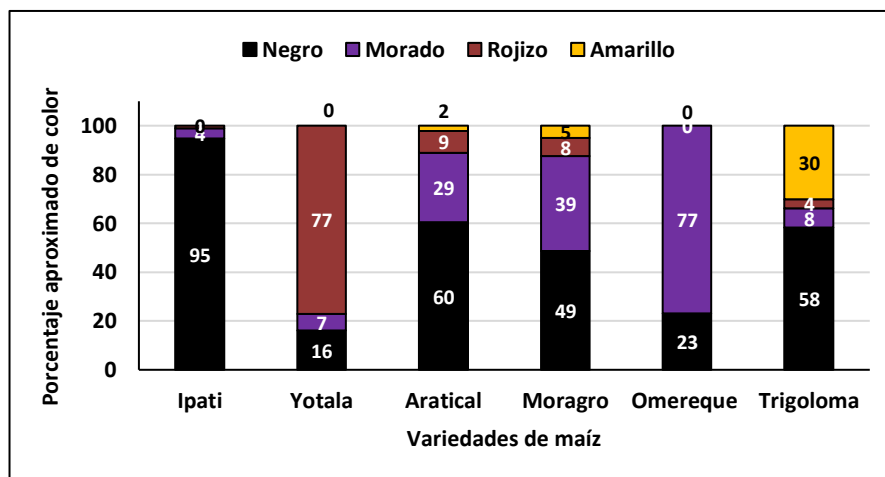


Figura 1. Color aproximado del grano registrado en el estudio de maíz morado, zona de valle de Santa Cruz, verano 2023/2024.

Resultados del análisis de antocianinas

a) Antocianinas totales

La concentración de antocianinas totales mostró variación entre las variedades evaluadas. En grano, Ipati presentó el mayor contenido promedio, con 154 mg 100 g⁻¹, mientras que Omereque registró el menor, con 42 mg 100 g⁻¹. En coronta (marlo), Moragro alcanzó la mayor concentración, con 561 mg 100 g⁻¹, y Trigoloma la menor, con 330 mg 100 g⁻¹. Considerando ambos tejidos, el contenido total promedio osciló entre 450 y 678 mg 100 g⁻¹, con una media general de 573 mg 100 g⁻¹ (Tabla 5).

La Figura 2 muestra que el contenido medio de antocianinas fue de 99 mg 100 g⁻¹ en grano y 474 mg 100 g⁻¹ en marlo, concentrándose aproximadamente el 82,7% en el marlo y 17,3% en el grano. Estos resultados evidencian una marcada acumulación de compuestos antocianínicos en la coronta (marlo).

La mayor acumulación de antocianinas en coronta (marlo) respecto al grano coincide con lo reportado por Guillén-Sánchez et al. (2014) y Rabanal-Atalaya y Medina-Hoyos (2021), quienes señalan que estos pigmentos se concentran principalmente en la coronta.

Tabla 5. Antocianinas totales en granos y coronta (marlo) en el estudio de maíz morado, zona de valle de Santa Cruz, verano 2023/2024, C.I.Q., 2025.

Variedades	Antocianina en mg/100 g		
	Grano	Coronta (marlo)	Total
Ipati	153,9	523,8	677,7
Moragro	102,3	560,9	663,2
Yotala	62,3	555,9	618,2
Omereque	41,6	477,9	519,4
Aratical	116,1	393,2	509,3
Trigoloma	120,5	329,9	450,4
Promedio	99,4	473,6	573,0
D.E.	38,7	100,8	92,9
C.V.%	38,9	21,3	16,2

Nota: CV calculado para antocianinas en: grano, marlo y totales, n=3.

Los valores registrados en grano (42–154 mg 100 g⁻¹) fueron similares a los descritos por Mendoza-Mendoza et al. (2017), evidenciando variabilidad entre genotipos y tejidos. Asimismo, Ipati, Aratical y Moragro, con mayor proporción de granos negros y morados, presentaron mayores concentraciones de antocianinas, sugiriendo una relación entre intensidad de pigmentación y contenido antociánico.

De manera similar, Carvalho (2019), Sánchez y Castro (2023) y Orizano-Ponce et al. (2024) reportaron concentraciones de antocianinas en coronta superiores a las registradas en Santa Cruz, atribuyendo estas diferencias al genotipo, ambiente de cultivo y metodología de extracción. Asimismo, Mendoza-Mendoza et al. (2017) demostraron que la distribución anatómica de los pigmentos influye significativamente en su concentración, respaldando al marlo como principal reservorio de compuestos antociánicos en las variedades evaluadas.

b) Promedio de antocianinas individuales en grano

El análisis de antocianinas individuales en grano evidenció diferencias en la proporción relativa de los compuestos identificados. La cianidina-3-(6-malonil-glucósido) fue predominante, con aproximadamente 30% del total, seguida de cianidina-3-glucósido con 25,1%. En contraste, cianidina-3-(di-malonil-glucósido) presentó la menor proporción, con 0,7% (Figura 2).

La mayor participación de cianidina-3-(6-malonil-glucósido) y cianidina-3-glucósido coincide con Cuevas Montilla et al. (2011), quienes identificaron estos derivados como las principales antocianinas del grano en cultivares bolivianos. Asimismo, Lao y Giusti (2018) señalaron que los derivados de cianidina constituyen la fracción antociánica predominante, debido a su

estabilidad química, capacidad antioxidante y contribución a la pigmentación característica de estos materiales.

Resultados similares fueron reportados por Salinas-Moreno et al. (2013), Jing et al. (2007), Li et al. (2017) y Rabanal-Atalaya y Medina-Hoyos (2021), quienes identificaron cianidina-3-glucósido y sus derivados malonilados como las principales antocianinas en maíces morados de México, Perú y Asia. Las bajas proporciones de cianidina-3-(di-malonil-glucósido) coinciden con Mendoza-Mendoza et al. (2017), evidenciando que la composición antociánica puede variar según genotipo, tejido y condiciones de cultivo.

c) Antocianinas individuales en grano

El análisis de antocianinas individuales en grano mostró una composición similar entre las variedades, aunque con diferencias en la proporción relativa de los compuestos identificados. Las mayores proporciones correspondieron a cianidina-3-(6-malonil-glucósido) y cianidina-3-glucósido; en contraste, pelargonidina-3,6-di-malonil-glucósido, cianidina-3-malonil-glucósido y peonidina-3,6-di-malonil-glucósido presentaron las menores proporciones (Figura 3).

Estos resultados coinciden con Cuevas et al. (2008), citados por Ramos Llico (2024), quienes identificaron cianidina-3-(6-malonil-glucósido) y cianidina-3-glucósido como las principales antocianinas del maíz morado. De manera similar, Rabanal-Atalaya y Medina-Hoyos (2021) señalaron que la cianidina-3-glucósido y sus derivados malonilados constituyen la fracción antociánica predominante en cultivares peruanos.

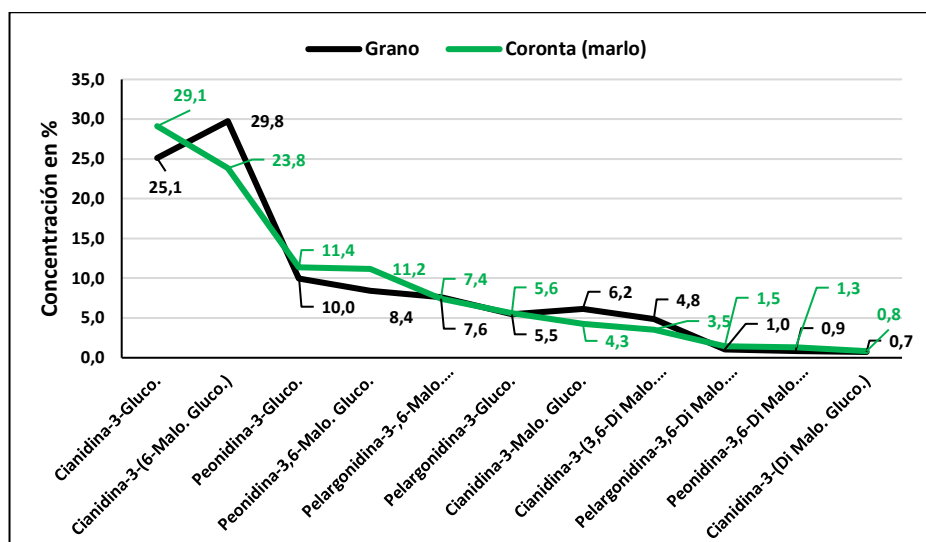


Figura 2. Promedio de antocianinas individuales en grano y coronta (marlo), zona de valle de Santa Cruz, verano 2023/2024. C.I.Q., 2025.

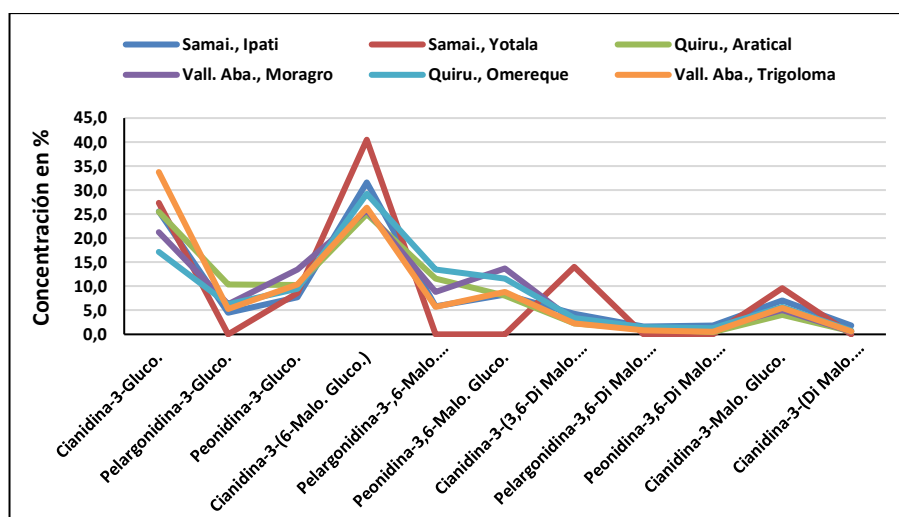


Figura 3. Antocianinas individuales en grano, zona de valle de Santa Cruz, verano 2023/2024. C.I.Q., 2025.

Asimismo, Guillén-Sánchez et al. (2014) reportaron que cianidina-3-glucósido, cianidina-3-(6-malonil-glucósido) y peonidina-3-glucósido se localizan principalmente en el pericarpio del grano. Hernández-Quintero et al. (2017) registraron predominancia de derivados de cianidina en maíces pigmentados de México. Las diferencias en la proporción de compuestos minoritarios, como pelargonidina y peonidina, evidencian variabilidad entre genotipos, tejidos y condiciones de cultivo, factores que influyen en la composición antocianínica del grano.

d) Promedio de antocianinas individuales en la coronta (marlo)

El análisis de antocianinas individuales en la coronta (marlo) mostró diferencias en la proporción relativa

La cianidina-3-glucósido presentó la mayor proporción, con 29,1%, seguida de cianidina-3-(6-malonil-glucósido), con 23,8%. En contraste, cianidina-3-(di-malonil-glucósido) registró la menor participación, con 0,8% del total (Figura 2).

El predominio de cianidina-3-glucósido y cianidina-3-(6-malonil-glucósido) coincide con Cuevas Montilla et al. (2011) y Ramos Llico (2024), quienes identificaron estos compuestos como los principales pigmentos presentes en la coronta (marlo) de maíz morado. De manera similar, Rabanal-Atalaya y Medina-Hoyos (2021) señalaron que la cianidina-3-glucósido y sus derivados malonilados constituyen la fracción antocianínica predominante en cultivares peruanos.

Asimismo, Guillén-Sánchez et al. (2014), Salinas-Moreno et al. (2013), Li et al. (2017) y Lao y Giusti (2018) reportaron elevadas proporciones de derivados de cianidina en la coronta (marlo), especialmente formas maloniladas asociadas a mayor estabilidad química. Las bajas proporciones de cianidina-3-(di-malonil-glucósido) coinciden con Mendoza-Mendoza et al. (2017). En conjunto, estos antecedentes respaldan al marlo como uno de los principales tejidos de acumulación de compuestos antociánicos en maíz morado.

e) Antocianinas individuales en la coronta (marlo)

El análisis de antocianinas individuales en la coronta (marlo) mostró diferencias entre las variedades evaluadas. Las mayores proporciones correspondieron a cianidina-3-glucósido y cianidina-3-(6-malonil-glucósido); en contraste, pelargonidina-3,6-di-malonil-glucósido, cianidina-3-malonil-glucósido y peonidina-3,6-di-malonil-glucósido presentaron las menores proporciones (Figura 4).

cianidina-3-glucósido y cianidina-3-(6-malonil-glucósido), coincidiendo con Carvallo (2019), quien identificó ambos compuestos como los principales pigmentos en maíces morados bolivianos. Asimismo, Rabanal-Atalaya y Medina-Hoyos (2021), Guillén-Sánchez et al. (2014) y Sánchez y Castro (2023) señalaron que la coronta concentra mayores proporciones de derivados de cianidina que el grano, constituyéndose en un importante tejido de acumulación de compuestos antociánicos.

Hernández-Quintero et al. (2017), Li et al. (2017) y Mendoza-Mendoza et al. (2017) reportaron predominancia de cianidina-3-glucósido y derivados malonilados en maíces pigmentados de México y otras regiones productoras, cuya composición puede variar según el tejido, grado de acilación y genotipo. En este estudio, la predominancia de estos compuestos en grano y marlo evidencia un perfil fitoquímico característico de los maíces morados andinos, asociado a capacidad antioxidante y potencial uso nutracéutico.

El perfil de antocianinas en marlo estuvo dominado por

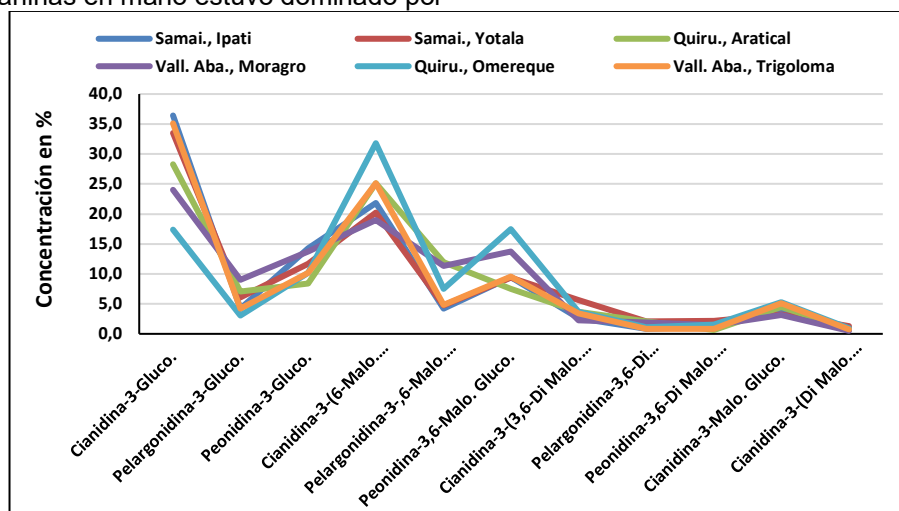


Figura 4. Antocianinas individuales en la coronta (marlo), zona de valle de Santa Cruz, verano 2023/2024. C.I.Q., 2025.

CONCLUSIONES

Las variedades de maíz morado evaluadas presentaron amplia variabilidad fenológica, morfológica y productiva bajo las condiciones de valle de Santa Cruz. El ciclo del cultivo osciló entre 123 y 135 días después de la siembra, mientras que el rendimiento de grano varió entre 3.157,1 y 6.921,4 kg ha⁻¹. Moragro destacó por su elevada productividad, seguida por Omereque y Aratical, evidenciando un favorable desempeño productivo bajo las condiciones de evaluación.

La concentración de antocianinas totales mostró diferencias entre variedades y tejidos, con valores entre

450,4 y 677,7 mg 100 g⁻¹. El marlo concentró el 82,7% del total, predominando cianidina-3-glucósido y cianidina-3-(6-malonil-glucósido), compuestos asociados a la capacidad antioxidante y potencial nutracéutico del maíz morado.

Considerando las características agronómicas, productivas y fitoquímicas evaluadas, las variedades Moragro, Aratical e Ipai destacaron como los materiales más promisorios. Moragro sobresalió por su alto rendimiento de grano, Aratical por su favorable desempeño agronómico e Ipai por su elevada concentración de antocianinas. En conjunto,

estas variedades presentan potencial para la investigación, conservación, mejoramiento genético y aprovechamiento del maíz morado en los valles de Santa Cruz.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, J., Medina, C., & Rabanal, R. (2017). *Producción y manejo agronómico del maíz morado en condiciones andinas*. Instituto Nacional de Innovación Agraria. <https://repositorio.inia.gob.pe/>
- Aguilar-Hernández, M. G., Ramírez-Díaz, J. L., Delgado-Alvarado, A., & Salinas-Moreno, Y. (2019). Antocianinas y color en grano y olote de maíz morado peruano cultivado en Jalisco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5), 1071–1083. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v10n5/2007-0934-remexca-10-05-1071.pdf>
- Aguilar-Hernández, M. G., Ramírez-Díaz, J. L., Delgado-Alvarado, A., & Salinas-Moreno, Y. (2019). Antocianinas y color en grano y olote de maíz morado peruano cultivado en Jalisco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(5), 1071–1083. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v10n5/2007-0934-remexca-10-05-1071.pdf>
- Carvalho, M. (2019). *Extracción de antocianinas de la coronta del maíz morado* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Juan Misael Saracho]. <https://dicyt.uajms.edu.bo/investigacion/index.php/quimica/article/view/204>
- Ccaccya, B., Quispe, R., & Medina, C. (2023). Evaluación agronómica de maíz morado en condiciones altoandinas del Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 25(1), 45–56. <https://doi.org/10.18271/ria.2023.456>
- Cereceres, M., Salinas-Moreno, Y., & Vázquez-Carrillo, G. (2020). Caracterización agronómica de maíces pigmentados de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(4), 765–777. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i4.2345>
- Claure, T., Saldaño, D., & Vega, H. (2011). *Recolección, conservación y utilización del germoplasma nativo y mejorado de maíz en Bolivia*. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal. http://revistasbolivianas.umsa.bo/pdf/rciii/v1n8/v1n8_a03.pdf
- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). (1991). *Descriptors for maize (Zea mays L.)*. International Maize and Wheat Improvement Center. <https://www.biodiversityinternational.org/e-library/publications/detail/descriptors-for-maize/>
- Coutiño-Estrada, B., Vidal-Martínez, V. A., & Vázquez-Carrillo, G. (2020). Plagas insectiles asociadas a maíces pigmentados en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(7), 1501–1512. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i7.2567>
- Cuevas Montilla, E., Hillebrand, S., Antezana, A., & Winterhalter, P. (2011). Soluble and bound phenolic compounds in different Bolivian purple corn (*Zea mays* L.) cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(13), 7068–7074. <https://doi.org/10.1021/jf200881x>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C. W. (2020). *InfoStat versión 2020*. Centro de Transferencia InfoStat, Universidad Nacional de Córdoba. <https://www.infostat.com.ar/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2018). *Ecophysiology and management of maize*. <https://www.fao.org/>
- Flores-Armillas, V. H., Salinas-Moreno, Y., & Vázquez-Carrillo, G. (2020). Daño ocasionado por aves en maíces pigmentados de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(8), 1765–1775. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2644>
- García, L., Quispe, R., & Medina, C. (2026). Adaptación agronómica de maíces morados en diferentes pisos altitudinales del Perú. *Scientia Agropecuaria*, 17(1), 35–47. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2026.004>
- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). Anthocyanins: Characterization and measurement with UV-visible spectroscopy. En R. E. Wrolstad (Ed.), *Current protocols in food analytical chemistry* (pp. F1.2.1–

- F1.2.13). John Wiley & Sons. (<https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>)
- González Regalado, J., Pinzón, A., Rodríguez, J., Bolaños Vargas, J., Romero Perilla, N., & Odjo, S. (2025). *Estudio de la cadena de valor de los maíces nativos y criollos en Colombia*. CGIAR. <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/4fa979d-4fa0-4d1b-9e74-6d396cbc8046/content>
- Guillén-Sánchez, J., Mori-Arismendi, S., & Paucar-Menacho, L. (2014). Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea mays* L.) variedad INIA 601. *Scientia Agropecuaria*, 5(4), 211–217. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2014.04.02>
- Guzmán, O. (2019). *Evaluación preliminar de las características agronómicas del maíz morado (Kculli) (Zea mays L.) en dos ambientes contrastantes del departamento de Santa Cruz, Bolivia* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno].
- Hatfield, J. L., & Prueger, J. H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10, 4–10. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>
- Hernández-Quintero, J. D., Salinas-Moreno, Y., & Vázquez-Carrillo, G. (2017). Anthocyanin profile and antioxidant activity of pigmented maize. *Agrociencia*, 51(4), 381–394. <https://www.scielo.org.mx/>
- Hsu, W. H., Li, C. Y., & Chen, M. H. (2022). Ear traits associated with grain yield in pigmented maize. *Plants*, 11(5), 675. <https://doi.org/10.3390/plants11050675>
- Huamán, R., Medina, C., & Rabanal, R. (2023). Hongos asociados al deterioro postcosecha de maíz morado. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 25(3), 215–223. <https://doi.org/10.18271/ria.2023.512>
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2018). *Variedad maíz INIA 601: Boletín técnico plegable*. Estación Experimental Agraria Baños del Inca, Cajamarca, Perú.
- Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2019). *Producción y manejo técnico del maíz morado*. <https://repositorio.inia.gob.pe/>
- Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF). (2020). *Catálogo de recursos genéticos de maíz en Bolivia*. Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal. <https://www.iniaf.gob.bo/>
- Jing, P., Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2007). Characterization of anthocyanins and antioxidant capacity of purple corn (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(22), 8804–8811. <https://doi.org/10.1021/jf071251k>
- Lao, F., & Giusti, M. M. (2018). Quantification of purple corn anthocyanins using spectrophotometric and HPLC approaches: Method comparison and correlation. *Food Analytical Methods*, 11(10), 2722–2732. <https://doi.org/10.1007/s12161-018-1264-0>
- Lara, V. (2022). *Efecto de seis épocas de siembra sobre características agronómicas de maíz morado (Zea mays L.) tipo Kculli* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno].
- Li, C. Y., Kim, H. W., Li, H., & Lee, D. C. (2017). Localization and composition of anthocyanins in purple corn. *Food Chemistry*, 238, 12–17. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.098>
- Mamani, R. (2021). *Caracterización morfológica de 28 accesiones de maíz morado (Zea mays L.)* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno].
- Medina-Hoyos, A., Rabanal-Atalaya, M., & Cabanillas, E. (2020). Adaptación agronómica y sanitaria de maíz morado en zonas altoandinas del Perú. *Scientia Agropecuaria*, 11(4), 497–506. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.04.07>
- Mendoza-Mendoza, E., Salinas-Moreno, Y., & Vázquez-Carrillo, G. (2017). Anthocyanin concentration in Mexican purple maize landraces. *Agrociencia*, 51(5), 491–503. <https://www.scielo.org.mx/>
- Nazar, M., & Mansilla, N. (2016). Evaluación agronómica de maíz morado Moragro en Córdoba, Argentina. *Revista de Ciencias*

- Agropecuarias, 20(2), 55–63.
- Nogales-Ascarrunz, A., Aliaga-Rossel, E., & Fernández, M. (2021). Diversidad genética y cultural de maíces nativos bolivianos. *Ecología en Bolivia*, 56(2), 89–102.
- Orizano-Ponce, E., Chamorro-Gómez, R. E., Briceño-Yen, H., Cueto-Rosales, C. R., & Zevallos-García, J. (2024). Análisis fisicoquímico y géneros de mohos en ecotipos cultivados de maíz morado (*Zea mays* L.). *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 11(1), 7–17. <https://doi.org/10.53287/wobn3885wg89y>
- Ortiz, A. (2012). *Los maíces en la seguridad alimentaria de Bolivia*. Centro de Investigación y Promoción del Campesinado (CIPCA). <https://www.cipca.org.bo>
- Pérez, M., Medina, C., & Huamán, R. (2021). Acame de raíz en maíz morado bajo condiciones altoandinas. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 23(2), 145–153. <https://doi.org/10.18271/ria.2021.298>
- Perdomo Leiva, M. (2023). *Evaluación de ensayos de maíz*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://doi.org/10.4060/cc1801es>
- Pinedo, R., Medina, C., & Quispe, L. (2017). Respuesta del maíz morado a niveles de fertilización. *Scientia Agropecuaria*, 8(3), 235–243. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.03.04>
- PROFEL. (2024). *Plataforma web de servicios meteorológicos y ambientales con sistema de alertas personalizadas*. <https://www.profelclima.com/>
- Quispe, R., Huamán, R., & Medina, C. (2023). Evaluación de longitud de mazorca en cultivares peruanos de maíz morado. *Scientia Agropecuaria*, 14(2), 165–174. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.014>
- Rabanal-Atalaya, M., & Medina-Hoyos, A. (2021). Caracterización de antocianinas y capacidad antioxidante en maíz morado peruano. *Scientia Agropecuaria*, 12(3), 321–330. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.037>
- Rabanal-Atalaya, M., Medina-Hoyos, A., & Cabanillas, E. (2022). Evaluación agronómica de cultivares peruanos de maíz morado. *Scientia Agropecuaria*, 13(2), 189–199. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.021>
- Ramos-Escudero, F., Muñoz, A. M., & Alvarado-Ortiz, C. (2019). Caracterización física y química de maíz morado peruano. *Food Research International*, 120, 318–326. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.02.042>
- Ramos Llico, E. (2024). *Caracterización fitoquímica y capacidad antioxidante de coronta de maíz morado INIA 601* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional del Altiplano. <https://repositorio.unap.edu.pe/>
- Romero-Cortes, T., Salinas-Moreno, Y., & Vázquez-Carrillo, G. (2022). Fertilización y rendimiento en maíz morado Kulli. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(3), 255–264. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.3.255>
- Salhuana, W., & Pollak, L. (2006). Latin American maize project (LAMP) and racial classification of maize. *Maydica*, 51(1), 1–12. <https://www.maydica.org/>
- Salinas-Moreno, Y., Pérez-Alonso, J. J., Vázquez-Carrillo, G., Aragón-Cuevas, F., & Velázquez-Cardelas, G. (2013). Anthocyanin diversity and antioxidant activity in Mexican purple maize races. *Journal of Cereal Science*, 57(3), 368–374. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.01.007>
- Salinas-Moreno, Y., Vázquez-Carrillo, G., & Aragón-Cuevas, F. (2020). Pigmented maize: Genetic diversity and nutraceutical potential. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(4), 299–310.
- Salinas-Moreno, Y., Vázquez-Carrillo, G., & Romero-Cortes, T. (2021). Arquitectura vegetal y tolerancia al acame en maíces pigmentados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(6), 1023–1035. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2891>
- Salvador-Reyes, R., & Clerici, M. T. P. S. (2020). Purple corn: Phenolic compounds and health benefits. *Journal of Functional Foods*, 64, 103690. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103690>

Sánchez, M., & Castro, J. (2023). Extracción y cuantificación de antocianinas en maíz morado mediante método diferencial de pH. *Revista Boliviana de Química*, 40(2), 95–104.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). (2024). *Boletín informativo de predicción climática para el trimestre febrero, marzo y abril de 2024, departamento de Santa Cruz*. https://senamhi.gob.bo/meteorologia/boletines/tendencias/2024/02_BOLETIN_PREDICCION_FMA%202024_SANTA%20CRUZ.pdf

Silva-Díaz, C., Medina, C., & Quispe, R. (2025). Adaptación fenológica de maíz morado en diferentes pisos altitudinales del Perú. *Scientia Agropecuaria*, 16(1), 55–66. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2025.006>

Vázquez-Carrillo, G., Salinas-Moreno, Y., & Santiago-Ramos, D. (2018). Caracterización física de maíces pigmentados mexicanos. *Agrociencia*, 52(4), 567–579.

Vázquez-Carrillo, G., Salinas-Moreno, Y., & Velásquez-Cardelas, G. (2020). Variabilidad morfológica de maíces pigmentados de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 43(2), 141–150.

Velásquez-Cardelas, G., Salinas-Moreno, Y., & Vázquez-Carrillo, G. (2021). Componentes de rendimiento en maíces pigmentados mexicanos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(3), 455–466. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i3.2740>

Villca, R., Choque, V., & Quispe, E. (2022). Evaluación agronómica en forraje y grano de variedades de maíz morado provenientes de Italia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 9(2), 65–74.