



Cultivo de maíz morado (*Zea mays* L.) en zona altoandina de Perú: Adaptación e identificación de cultivares de alto rendimiento y contenido de antocianina

Purple corn (*Zea mays* L.) crop in the Peruvian Highlands: Adaptation and identification of high-yield and high anthocyanin content cultivars

Alicia Medina-Hoyos^{1,*} ; Luis Alberto Narro-León² ; Alexander Chávez-Cabrera¹ 

¹ Instituto Nacional de Innovación Agraria. Estación Experimental Agraria Baños del Inca. Cajamarca. Peru.

² Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Cali, Colombia.

Received January 23, 2020. Accepted June 15, 2020.

Resumen

El maíz morado (*Zea mays* L.) originado de la raza Kculli, es propio de los valles interandinos y se cultiva hasta 3000 m.s.n.m.; es único en el mundo por poseer un color morado oscuro en el grano y otras partes de la planta. El color está determinado por antocianinas como la cianidina-3-glucósido. El objetivo del trabajo fue evaluar la producción de grano y la cantidad de antocianinas en la coronta y brácteas de seis cultivares de maíz morado. El contenido de antocianinas se determinó a través de la absorbancia del pigmento por HPLC (High Performance Liquid Chromatography). Los cultivares se sembraron en 28 localidades del departamento de Cajamarca (Perú), entre 2016 y 2019. Los resultados muestran que la mayor producción de grano (2,77 t ha⁻¹) y la mayor concentración de antocianinas en corontas (6,12) y brácteas (3,18 mg/100 g de cianidina-3-glucósido) se obtiene sembrando la variedad INIA 601; con esta alternativa tecnológica el agricultor podría establecer un agronegocio rentable ya que podría obtener ingresos cuatro veces mayores que vendiendo solo grano de otros tipos de maíz.

Palabras clave: maíz morado; antocianinas; coronta; brácteas; Andes peruanos; maíz.

Abstract

Purple corn (*Zea mays* L.) which background is the Kculli race, was originated in the Andean region and is grown in environments as high as 3000 m.a.s.l.; it is unique because of the purple color in the grain and other parts of the plant; the color is due to the presence of anthocyanin such as cyanidine-3-glucoside. The objective of this study was to evaluate the grain production and determine the anthocyanin content in the cob and husk of six purple maize cultivars. Anthocyanin content in cob and husk was obtained through the pigment absorbance determination by HPLC (High Performance Liquid Chromatography). Cultivars were planted at 28 environments of Cajamarca during 2016 to 2019. Results indicated that cultivar INIA 601 showed the highest grain yield (2.77 t ha⁻¹) and the highest anthocyanin content in cobs (6.12) and husks (3.18 mg/cyanidine-3-glucoside); consequently, using this technology, farmers can develop an agribusiness four times more profitable than growing other types of maize for grain production.

Keywords: purple corn; anthocyanins; cob; husk; Peruvian Andes; maize.

1. Introducción

El maíz morado (*Zea mays* L.) es integrante de la raza Kculli, una de las 52 razas que aún se cultiva en los Andes peruanos (MINAM, 2018). Es único en el mundo por tener los granos, brácteas y la coronta (tusa) de color morado a negro debido a las antocianinas

que poseen. Las antocianinas son pigmentos naturales hidrosolubles del grupo de los flavonoides –glucósidos de las antocianidinas–, presentes en las vacuolas de células vegetales, que otorgan el color rojo, púrpura o azul a las hojas, flores y frutos de los arándanos, cerezas, frambuesas, re-

Cite this article:

Medina-Hoyos, A.; Narro-León, L.A.; Chávez-Cabrera, A. 2020. Cultivo de maíz morado (*Zea mays* L.) en zona altoandina de Perú: Adaptación e identificación de cultivares de alto rendimiento y contenido de antocianina. *Scientia Agropecuaria* 11(3): 291-299.

* Corresponding author

E-mail: amedina@inia.gob.pe (A. Medina-Hoyos).

© 2020 All rights reserved

DOI: 10.17268/sci.agropecu.2020.03.01

pollo morado, berenjena y del maíz (Guillén-Sánchez *et al.*, 2014). En el caso de maíz la cantidad de antocianinas depende del tipo de maíz (genotipo), del órgano de la planta y de las condiciones ambientales donde crezca esta planta (Duangpapeng *et al.*, 2019). Estos pigmentos representan un potencial para el reemplazo competitivo de colorantes sintéticos en alimentos, productos farmacéuticos y cosméticos y para la obtención de productos con valor agregado dirigidos al consumo humano (Gullón *et al.*, 2020). Este producto es reconocido por la Unión Europea y por la Legislación Japonesa con el Código E-163 (INDECOPI, 2016). La siembra de maíz morado por los agricultores en la sierra de Perú puede ser una alternativa rentable y por lo tanto una opción para vincular al pequeño agricultor con el mercado, ya que con la venta de grano, coronta y brácteas con alto contenido de antocianinas podría obtener al menos 4 veces más de ingresos que sembrando el maíz amiláceo que tradicionalmente cultiva el agricultor con producciones promedio de 1,5 t ha⁻¹ de grano, que les significa un ingreso de solo S/ 4500 ha⁻¹.

Se han identificado seis tipos de antocianinas: Cianidina 3-O-b-Glucósido (llamada C3G, responsable del 70 por ciento de la intensidad del color), Pelargonidina (3 moléculas) y Peonidina (2 moléculas) (Castañeda *et al.*, 2005). Sus funciones en las plantas son múltiples, desde la protección de la radiación ultravioleta, la atracción de insectos polinizadores, hasta impedir la congelación de las frutas, como las uvas (Gorriti *et al.*, 2009; Guillén-Sánchez *et al.*, 2014). Su demanda es considerable en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica para reemplazar a los colorantes sintéticos, debido a su naturaleza química e inocuidad (Jing *et al.*, 2007; Gorriti *et al.*, 2009; Gullón *et al.*, 2020).

Estos fitoquímicos presentes en el maíz morado tienen efectos benéficos, tales como su capacidad antioxidante o de neutralización de radicales libres (Tian *et al.*, 2018; Tian *et al.*, 2019; Monroy *et al.*, 2020) y actuar como anti mutagénico (Jing y Giusti, 2007; Guillén-Sánchez *et al.*, 2014; Simla *et al.*, 2016). En el organismo humano, los factores vitamínicos que posee son utilizados como protectores capilares y venosos (Moreno-Loaiza y Paz-Aliaga, 2010; Heras *et al.*, 2013) previenen problemas de aterosclerosis. Además, ayudan a prevenir enfermedades cardiovasculares, ya que estimulan la circulación de la sangre y protegen los vasos sanguíneos de un posible deterioro oxidativo (ayudan a prevenir el envejecimiento prematuro). El maíz morado

es recomendado por su efecto antiinflamatorio (Zhang *et al.*, 2019) y sirve para ayudar la regeneración de tejidos y formación de colágeno, siendo de esta forma beneficioso para la salud de la piel. Ayuda a controlar y reducir los niveles de colesterol en la sangre y a mantener una presión arterial baja. Ayuda a que el organismo sintetice los ácidos grasos siendo esto muy favorable para las personas con diabetes (Zhang *et al.*, 2019; Ferron *et al.*, 2020) y para las personas que padecen de obesidad. Se estudia la posibilidad de que el maíz morado también sea muy bueno para prevenir enfermedades como el cáncer de colon (Lao *et al.*, 2017; Sheng *et al.*, 2018). Con el consumo del maíz morado las posibilidades de obtener ciertos beneficios en la acción diurética e hipotensora es mayor, esta última acción parece deberse a que contiene sustancias aún no determinadas (probablemente polifenoles), que actúan en muchos casos bajando la presión arterial, además de la actividad hipotensora propia de las sustancias diuréticas (Arroyo *et al.*, 2008; Jing *et al.*, 2007; He y Giusti, 2010; Lao *et al.*, 2017); y por ser considerado como base para producir alimentos funcionales (Mansilla y Nazar, 2020).

El objetivo de este trabajo es evaluar la producción de grano y la cantidad de antocianinas presentes en la coronta (tusa) y en las brácteas (pancas) de seis cultivares de maíz morado evaluados en ambientes de la zona altoandina de Cajamarca, Perú.

2. Materiales y métodos

Ubicación

El experimento se sembró en 28 ambientes del distrito de Ichocán, San Marcos, Cajamarca, ubicados en un cuadrante aproximado de S 7°21' a S 7°22'12" y W 78°09' a W 78°06'36", entre 2320 y 3180 m.s.n.m. (Tabla 1); los ensayos fueron sembrados de 2016 a 2018 en campos de agricultores con diferentes características de suelo. Las condiciones climáticas promedio durante el periodo de cultivo fueron: 19,9 °C de temperatura máxima, 8,8 °C de temperatura mínima y 14,4 °C de temperatura media, y 718 mm de precipitación.

Material vegetal

Se evaluó seis variedades de libre polinización de maíz morado:

- INIA 601, formada en 1990 por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) de Perú en la Estación Experimental Baños del Inca y constituido por 108 progenies de la variedad «Morado de Caraz» y 148 progenies de la variedad local «Negro de Parubamba». Se ha probado su adaptación

en la sierra norte del Perú (Cajamarca, La Libertad y Piura) a altitudes entre 2490 y 3175 m.s.n.m.

- UNC 47, derivada de INIA 601 y mejorada por la Universidad Nacional de Cajamarca-Perú utilizando selección recurrente de medios hermanos.

- Morado Mejorado (MM), sintético derivado de INIA 601 y que viene siendo seleccionado por el INIA en la Estación Experimental de Baños del Inca utilizando selección de progenies S₁.

- INIA 615 «Negro Canaán», desarrollada por el INIA en la Estación Experimental Canaán, Ayacucho, a partir de 36 colecciones de cultivares locales de la raza Kully colectadas en 1990 en las provincias de Huanta (22), Huamanga (8) y San Miguel (6) del departamento de Ayacucho, Perú.

- Canteño, variedad precoz derivada de la raza Cusco que se cultiva en las partes altas del valle del río Chillón en el departamento de Lima, entre 1800 y 2500 m.s.n.m.

- PMV 581, variedad mejorada por la Universidad Nacional Agraria La Molina a partir de la variedad Morado de Caraz, adaptada a la costa y sierra baja.

largo × 0,8 m de ancho, de los cuales se cosechó los dos centrales, equivalente a un área de parcela de 8,8 m².

Las fórmulas de fertilización para los ensayos variaron de acuerdo con las características de suelo, oscilando entre 110-40-40 y 120-60-40 unidades de NPK, respectivamente. En todas las parcelas se hizo un control eficiente de plagas como «cogollero» (*Spodoptera frugiperda* Smith) y «mazorquero» (*Helicoverpa zea* Boddie). En los dos surcos centrales de cada UE se evaluaron las siguientes características: Número de plantas al momento de la cosecha; Días a floración masculina y femenina, tomados al 50% de plantas liberando polen y mostrando pistilos, respectivamente; Alturas de planta y de mazorca, tomadas en 10 plantas al azar, y expresadas en metros; Acame de raíz y de tallo, y expresado en porcentaje; Peso de campo de todas las mazorcas cosechadas, en kilogramos × parcela, para luego obtener el rendimiento de grano en t ha⁻¹ al 14% de humedad; y Pudrición de mazorca expresado en porcentaje luego de utilizar la escala de 1 a 6 establecida por el Programa de Maíz del CIMMYT (2004).

Tabla 1

Ambientes o localidades donde se instalaron los 28 experimentos de evaluación de variedades de maíz morado

Am-biente	Fecha de Siembra	Nombre del Agricultor	Altitud (m.s.n.m.)
A1	1/12/2016	Jaime Sánchez	2770
A2	29/12/2016	Marcos Burgos	2490
A3	27/10/2016	Segundo Aliaga	3130
A4	30/12/2016	Felismer Rojas	2540
A5	8/12/2016	Mario Abanto	2927
A6	9/12/2016	Melecio Rodríguez	2980
A7	10/12/2016	Elsa Muñoz	2870
A8	21/12/2016	Eladio Urbina	3135
A9	8/11/2017	Crescencio Rojas	2880
A10	9/11/2017	Hipólito Tirado	2920
A11	27/11/2017	Jaime Sánchez	2770
A12	14/12/2017	Bernardo Abanto	3010
A13	29/11/2017	Marcos Burgos	2490
A14	31/10/2017	Fredesbinda Tirado	2825
A15	31/10/2017	Orfila Abanto	3130
A16	28/11/2017	Pedro Sánchez	3135
A17	14/11/2018	Mario Castañeda	3032
A18	16/11/2018	Hipólito Tirado	2920
A19	5/11/2018	Pedro Sánchez	3135
A20	24/11/2018	Jaime Sánchez	2770
A21	25/11/2018	Emilia Honorio	2770
A22	14/11/2018	Juan Álvarez	2388
A23	27/11/2018	José Paredes	2470
A24	7/11/2018	María Leiva	2500
A25	1/10/2018	José Acosta	3175
A26	20/10/2018	Segundo Aliaga	3130
A27	7/11/2018	Marcos Burgos	2490
A28	14/11/2018	José Rojas	2544

Manejo de campo

En cada ambiente se instaló un experimento utilizando el diseño de bloques completos aleatorizados, con cuatro repeticiones. La unidad experimental (UE) estuvo constituida por cuatro surcos, cada uno de 5,5 m de

Análisis del rendimiento

El rendimiento de granos fue obtenido por la corrección del peso de granos para 14% de humedad y ajustado a t ha⁻¹ mediante la siguiente fórmula:

$$RGC = PC \left(\frac{100 - H^a}{86} \right) \left(\frac{10}{AEP} \right) * D$$

donde: RGC es el rendimiento de granos corregido al 14% de humedad en t ha⁻¹; PC es el peso de campo; H^a es el porcentaje de humedad del grano; (100 - H^a) es el coeficiente de porcentaje de materia seca; 86 es el coeficiente de corrección de humedad al 14%; (10/AEP) es el factor de corrección para transformar kg parcela⁻¹ en t ha⁻¹; AEP es el área efectiva de la parcela, igual a 4,4 m² y D es el porcentaje de desgrane equivalente a 0,8.

Extracción de antocianinas

El contenido de antocianinas de corontas y de brácteas se midió mediante el método descrito por Jing y Giusti (2007) y Gorriti et al. (2009), y caracterizado mediante el método cromatográfico de HPLC (High Performance Liquid Chromatography). Se emplearon muestras de 0,30 g de coronta y 0,40 g de brácteas, según el siguiente protocolo: las muestras debidamente molidas y pesadas son vertidas en vasos de precipitación de 250 ml, adecuadamente identificados, junto con 100 ml de ácido (850 ml de alcohol + 150 ml de

ácido clorhídrico al 2%), registrando el peso total y, por diferencia, los pesos parciales de materia prima (coronta o brácteas) e hidroácido. Se cubre el vaso con papel de aluminio para no perder el alcohol por evaporación y se lo coloca en una cocina magnética a 60 °C, durante dos horas. Se introduce un pequeño imán dentro del vaso. Al activar la cocina magnética esta hace que el imán gire a 300 rpm dentro del vaso, permitiendo una mezcla homogénea. La cocina que contiene un termómetro digital se gradúa a 60 °C. Pasadas las dos horas se retira el imán y se vuelve a pesar el vaso. Luego se agrega hidroácido hasta completar el peso inicial (materia prima + hidroácido). Se remueve la muestra con un agitador, se tapa nuevamente el vaso con papel aluminio y se lo deja reposar durante 30 min. Pasado este tiempo, con la ayuda de una pipeta, se extrae 5,0 ml de la muestra que son colocados en una fiola o matraz con capacidad para 100 ml. Se adiciona hidroácido hasta completar 100 ml dentro de la fiola, se tapa esta con ayuda de tampones y se agita hasta conseguir una mezcla uniforme. Luego la muestra es trasladada a la máquina espectrofotométrica adaptada a una longitud de onda de 535 nm, para medir la absorbancia que tiene un rango de 600 a 700.

Cuantificación de antocianinas

Para obtener la cantidad en equivalentes de cianidina-3-glucósido / 100 g de peso seco o porcentaje de antocianinas (unidades en las que es expresada la cantidad de Antocianinas en este documento), se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Antocianinas} = \frac{\text{Abs}(535) \times 2000}{982 \times P(g)}$$

donde: *Abs* (535) es la longitud de onda absorbida (espectrofotómetro); 2000 es una constante; 982 es una constante; y *P*(g) es el peso inicial de materia prima + hidroácido en g.

Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza por localidad y a través de localidades, de todas las

características evaluadas, incluida la concentración de antocianinas en coronta y brácteas, de acuerdo con el diseño de bloques completos aleatorizados utilizando el software JMP Pro (v.10, SAS Institute Inc., EE.UU.). Para identificar las diferencias significativas entre los promedios se empleó la prueba de rango múltiple de Duncan. El nivel de significancia se definió en 0,05.

Para el estudio de la interacción genotipo × ambiente, se utilizó la metodología AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interactions) (Gauch y Zobel, 1988).

3. Resultados y discusión

En la [Tabla 2](#) se presenta el análisis de varianza para rendimiento de grano de las seis variedades evaluadas en 28 ambientes. Se observó diferencias para ambientes, genotipos y genotipos × ambientes; la mayor parte de la suma de cuadrados esta explicada por los ambientes, seguido de la interacción genotipos × ambientes; por esta razón se decidió analizar los datos utilizando el modelo AMMI. Según este modelo los dos componentes principales (PC1 + PC2) son responsables del 61,2% de la suma de cuadrados.

En el biplot de AMMI ([Figura 1](#)) algunos ambientes como A4, A11, A13, A18, A20, A24 y A25 están más cerca al origen; por lo tanto, no hacen una buena discriminación de los cultivos, probablemente por el reducido número de cultivos en estudio y también porque tres de ellos (INIA 601, Morado Mejorado y UNC 47) están emparentados, pues se derivan de una misma base genética y por lo tanto su respuesta en estos ambientes es muy parecida. Otros ambientes como A1, A5, A7, A14, A16 y A19, que están más lejos del origen, discriminan mejor a los cultivos precisamente porque el comportamiento de estos es diferente según las condiciones que se presentaron en los ambientes de evaluación ([Figura 1](#)). Esto es un buen ejemplo para interpretar el concepto de la interacción genotipo × ambiente.

Tabla 2

Análisis de variancia de rendimiento de grano al 14% de humedad (t ha⁻¹) de seis genotipos de maíz morado evaluados en 28 ambientes. 2019

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Valor de F	Pr > F
Ambientes	27	526,100	19,485	45,80	< 0,0001
Repeticiones (Ambientes)	84	56,109	0,667	1,57	0,0023
Genotipos	5	50,158	10,031	23,58	< 0,0001
Genotipos × Ambientes	135	182,225	1,349	3,17	< 0,0001
PC1	31	66,910	2,158	4,64	< 0,0001
PC2	29	44,683	1,541	3,32	< 0,0001
Residual	75	70,632	-	-	
Error	420	178,684	0,425		
Total corregido	671	993,278			
Rendimiento promedio (t ha ⁻¹)	2,34				
Coefficiente de variación (%)	27,9				
R ²	0,82				

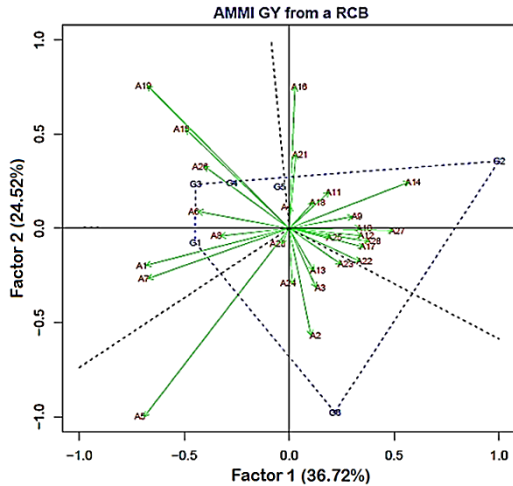


Figura 1. Biplot de AMMI con el primer y segundo componente principal (Factor 1 y Factor 2) de seis cultivares de maíz morado evaluados en 28 ambientes.

Se calcularon los valores promedio de estabilidad (ASV = Average Stability Value) de los cultivares según el modelo AMMI para rendimiento de grano (Tabla 3). El genotipo más estable es INIA 615 (G5), seguido por UNC 47 (G4), INIA 601(G1) y Morado Mejorado (G3); todos estos cultivares aparecen cerca al centro de la Figura 1; Canteño (G2) muestra los mayores valores de ASV y está más lejos del origen, probablemente porque es una variedad que responde mejor a 1800 y 2500 m.s.n.m., que corresponde a su centro de mayor difusión en el valle del río Chillón, Lima, y no en los ambientes de sierra de más de 2500 m.s.n.m.

Tabla 3

Valores de estabilidad AMMI de rendimiento de grano al 14% de humedad de seis cultivares de maíz morado evaluados

Geno-tipo	Nombre del cultivar	Rendimiento (t ha ⁻¹)	ASV	Orden de Estabilidad
G5	INIA 615	2,40	0,23016	1
G4	UNC 47	2,31	0,47492	2
G1	INIA 601	2,77	0,67574	3
G3	Morado mejorado	2,50	0,70931	4
G6	PMV 581	2,15	1,02841	5
G2	Canteño	1,90	1,53973	6
DMS		0,26		

El biplot de la Figura 2 muestra en el eje de las ordenadas el componente principal 1 (PC1) y en el eje de las abscisas el rendimiento de grano al 14% de humedad, se describe el comportamiento de los cultivares (G_i) y de los ambientes (A_j). INIA 601 (G1) es el cultivar con más alto rendimiento de grano y Canteño (G2) el de menor rendimiento. Los ambientes que están a la derecha en los cuales los cultivares tienen rendimientos más altos como es el caso de A16 y A19; éstos corresponden a una altitud superior a

2490 m.s.n.m. (Tabla 1), donde el buen manejo del cultivo permitió que se obtengan estos resultados, ya que no se encontró relación alguna entre la altitud *per se* y el rendimiento como para establecer megaambientes con base en estos criterios. Como se indicó, los 28 ambientes de estudio pertenecen a una zona geográfica de 76,11 km² y a una elevación promedio de 2596 m, en el departamento de Cajamarca.

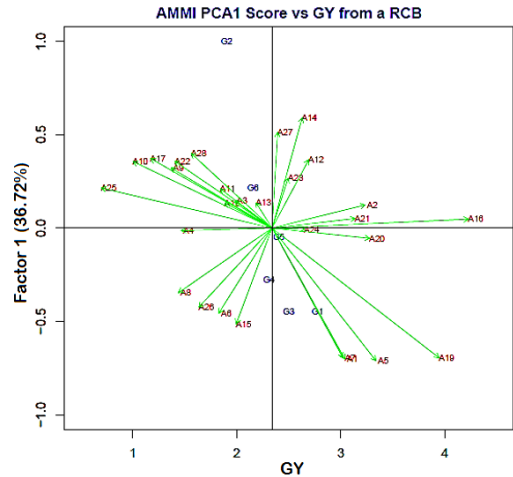


Figura 2. Biplot de AMMI con el primer componente principal (Factor 1) y rendimiento promedio en t ha⁻¹ (GY) de seis cultivares de maíz morado evaluados en 28 ambientes.

Cuando el maíz sufre de estrés por deficiencia de agua, luz, nutrientes y, a veces, por largos fotoperiodos y falta de adaptación térmica durante la floración, la emisión de pistilos y el crecimiento de la mazorca se detienen en relación con la emisión de polen en la panoja y el intervalo entre emisión de pistilos y antesis (ASI) aumenta; esta parece ser una respuesta general de la planta a una reducción en la formación de fotosintatos durante esta etapa de crecimiento (Edmeades *et al.*, 2000), pudiendo causar problemas en la polinización y el llenado de grano en la mazorca. El ASI está altamente correlacionado con rendimiento de grano bajo estrés por sequía. En este estudio se encontró diferencias significativas en días a floración femenina, días a floración masculina y ASI entre las seis variedades. Se observó cierta tendencia entre el valor de ASV y el de ASI; INIA 615, la variedad con menor valor de ASV (0,23), es decir la de mayor estabilidad, mostró el menor valor de ASI (4,81). El valor promedio de ASI de INIA 601 y sus variedades derivadas fue alrededor de 6,0 (Tabla 4) coincidió con valores de ASV de 0,5 a 0,7. La correlación genética entre el rendimiento de grano y el ASI en diversos genotipos cultivados bajo sequía durante la floración es de aproximadamente -0,6, lo

que sugiere que el ASI es un indicador visual de los procesos subyacentes que afectan el éxito reproductivo (Edmeades et al., 2000). El daño por pudrición de mazorca fue relativamente bajo; en promedio, por cada 100 mazorcas cosechadas, diez se pudrieron, cuya causa principal son hongos del género *Fusarium* sp. Estos daños dependen del genotipo (variedad) y de los factores ambientales donde se desarrolla el cultivo; en este sentido, el daño por pájaros incide en un mayor desarrollo de los hongos. Otro factor es el daño producido por *Euxesta* sp, que ataca a la mazorca desde la formación de los pistilos y continúa durante el desarrollo del grano produciendo en el ápice de la mazorca un ambiente húmedo que facilita la proliferación de hongos y consecuentemente, pudrición de mazorca. Al respecto, el daño por pudrición de mazorca de INIA 601 fue 9,1%, significativamente menor que el de PMV 581 (11,2%), las otras variedades mostraron de 10,1 a 10,6% de pudrición de mazorca, sin diferencia entre ellas (Tabla 4). Con relación al contenido de antocianinas, Li et al. (2008) y Fernandez-Aulis et al. (2019) indican que el maíz morado produce antocianinas en toda la planta, especialmente en las brácteas y coronta, aunque los niveles varían significativamente entre estas. En su estudio, Li et al. (2008) determinaron que los niveles de antocianinas de las brácteas oscilan entre el 17,3% y el 18,9% del peso seco, aproximadamente 10 veces más que el contenido estándar actual de grano de maíz morado. Fernandez-Aulis et al. (2019) indican que las brácteas de maíz Cacahuacintle pueden considerarse como una fuente competitiva de antocianinas con las fuentes comerciales disponibles y que esta depende del método de extracción usado. Esos resultados coinciden con los de Simla et al. (2016), quienes evaluaron el contenido de antocianinas, el contenido fenólico y la actividad antioxidante en el grano, la coronta, los pistilos y las brácteas de maíz ceroso morado, encontrando que los pistilos tienen un alto contenido de antocianinas en la etapa

de formación de grano, pero la coronta tiene el mayor contenido de antocianinas por unidad de área, y concluyen que tanto los pistilos como las corontas pueden usarse como fuente de antocianinas en la industria alimentaria. En el presente trabajo no se calculó el contenido de antocianinas en el grano, pero se ha determinado que este es de 0,56% en el cultivar INIA 601. Esto quiere decir que para el caso de INIA 601, Morado Mejorado y UNC 47, el contenido de antocianina en la coronta es 10 veces más que el contenido de antocianinas en el grano; para el caso de antocianinas en las brácteas comparado con antocianinas en el grano, éstas son 5,7 veces para INIA 601 y alrededor de 3,2 veces para el caso de Morado Mejorado y UNC 47 (Tabla 4).

Como se mencionó anteriormente, la variedad INIA 601 proviene de un proceso de selección recurrente de progenies de medios hermanos de la Población Negro originada en 1990 en Cajabamba-Cajamarca. Desde el inicio del proceso se incidió en la selección hacia un color morado intenso de la coronta (Figura 3). El contenido de antocianinas en la coronta varía de 6,2 a 5,7% en las variedades INIA 601, Morado Mejorado, INIA 615 y UNC 47 y es significativamente mayor que el contenido de antocianinas de las variedades PMV-581 y Canteño, que varía de 4,14 a 4,66%. Con relación al contenido de antocianinas en las brácteas, la cantidad es mayor en INIA 601 (3,18%) que, en Morado Mejorado, INIA 615 y UNC 47 con cantidades entre 1,2 y 1,9% y también mayor que PMV 581 y Canteño que poseen menos del 1% (Tabla 4).

Si una variedad tiene un buen rendimiento de grano y buen contenido de antocianinas, las ventajas para el agricultor se incrementan considerablemente. Se ha calculado que por 5000 kg ha⁻¹ de mazorca comercial de la variedad INIA 601, se pueden producir hasta 500 kg de corontas y 200 kg de brácteas secas y picadas con contenido de antocianinas de 6,12 y 3,18%, que es la forma como se comercializan estos productos.

Tabla 4

Rendimiento de grano al 14% de humedad, precocidad, calidad de la mazorca, acame de raíz y contenido de antocianinas en coronta y brácteas, de seis cultivares de maíz morado evaluados en 28 ambientes

Variedad	Rendimiento de grano t ha ⁻¹	Floración femenina n° de días	Floración masculina n° de días	ASI	Pudrición de mazorca	Acame de raíz	Antocianinas en coronta †	Antocianinas en brácteas †
INIA 601	2,77 a	112,3 ab	106,0 ab	6,24 a	9,07 b	0,81 a	6,12 a	3,18 a
MM ‡	2,50 ab	113,4 a	107,0 a	6,43 a	10,14 ab	0,77 a	5,63 a	1,76 b
INIA 615	2,40 b	109,9 d	105,1 b	4,81 b	10,63 ab	0,84 a	5,44 a	1,18 b
UNC 47	2,31 b	111,5 bc	105,6 ab	5,90 ab	10,58 ab	0,81 a	5,70 a	1,90 b
PMV 581	2,15 c	109,2 d	103,4 c	5,78 ab	11,24 a	0,75 a	4,14 b	0,80 c
Canteño	1,90 d	110,3 cd	105,1 b	5,18 ab	10,27 ab	0,86 a	4,66 b	0,63 c
Promedio	2,34	111,1	105,4	5,72	10,3	0,81	5,28	1,57
CV (%)	29,7	3,84	3,55	61,9	43,1	53,1	17,3	64,3
LSD (0.05)	0,34	1,63	1,43	1,35	1,7	0,16	0,71	0,78

† mg/100 g de equivalente de cianidina-3-glucósido; ‡ MM = Morado Mejorado.

Promedios seguidos de la misma letra no difieren estadísticamente ($p < 0,001$).

El precio del grano morado seco es de S/ 2,0 por kg y el precio por kg de corontas o brácteas secas es de S/ 20. Por lo tanto, los 700 kg de corontas y brácteas secas y picadas generan un ingreso de S/ 14 000. Esto significa que produciendo en una hectárea 2500 kg de grano al 14% de humedad y 700 kg de corontas y brácteas secas y picadas, el agricultor podría obtener un ingreso bruto de S/ 19 000. Descontando el costo de producción que se aproxima a S/ 8 000 × ha (MINAGRI, 2017), la utilidad neta llegaría a S/ 11 000 × ha; manteniendo los costos fijos, se obtendría mayor rentabilidad y productividad de las variedades de maíz.

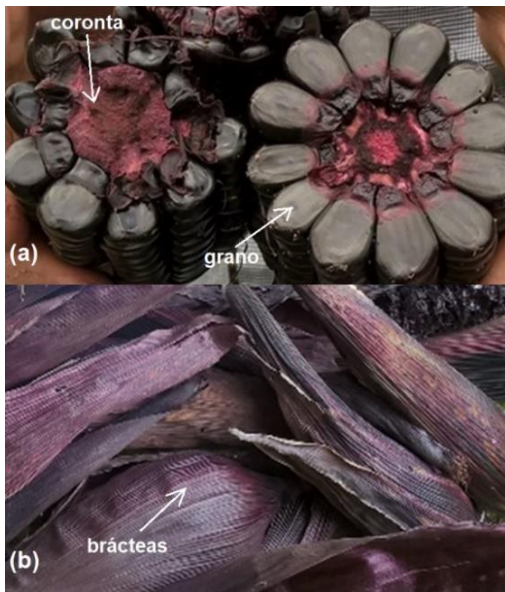


Figura 3. Las antocianinas se encuentran en mayor proporción en las corontas (a) y brácteas (b) que en el grano de INIA 601.

La poca adaptabilidad de Canteño y PMV 581 a las zonas altas de Cajamarca, demostrada por su bajo comportamiento en campo, afecta obviamente a la producción de antocianinas en toda la planta. Existen estudios al respecto con maíz morado cultivado en diferentes condiciones del país donde la producción de antocianinas no supera el 2,0% en coronta (Manzano, 2016), mientras que en otros oscila entre 2,9 y 13,3% de antocianina monomérica (Jing *et al.*, 2007). Las antocianinas extraídas de la variedad INIA 601, constituyen un valor agregado importantísimo para el agricultor de la sierra que, entre 2000 y 3000 m.s.n.m., usualmente cosecha entre 1,0 y 1,5 t ha⁻¹ de grano. Los resultados obtenidos en Ilochán-Cajamarca son largamente superiores a los que Cuevas *et al.* (2011) encontraron con cultivares de maíz morado

en Bolivia, así como a los obtenidos por Pinedo (2015) en Ayacucho, Perú.

Cuevas *et al.* (2011) reportan que los compuestos fenólicos de nueve variedades de maíz morado boliviano (cuatro variedades rojas y cinco azules: Kculli, Ayzuma, Paru, Tuimuru, Oke, Huaca Songo, Colorado, Huillcaparu y Checchi), están altamente concentrados en las paredes celulares, por lo tanto, la determinación simultánea de compuestos fenólicos solubles y enlazados es esencial para el análisis, la extracción y la cuantificación. Usaron hidrólisis enzimáticas, térmicas y alcalinas para obtener los compuestos fenólicos unidos a la pared celular. Los valores de ácido ferúlico oscilaron entre 1,33 y 2,98%, y el contenido de ácido p-cumárico entre 2,51 y 6,08%, respectivamente. El contenido total de compuestos fenólicos varió de 3,11 a 8,18% equivalentes de ácido gálico (GAE) / 100 g de peso seco, y la contribución porcentual de fenoles unidos a totales varió de 62,1 a 86,6%. El contenido de antocianina monomérica total varió de 0,01 a 0,72% equivalentes de cianidina-3-glucósido / 100 g de peso seco. Pinedo (2015) encontró mayor rendimiento de mazorca con la variedad INIA 615 (3,67 t ha⁻¹) que con la variedad PMV 581 (2,78 t ha⁻¹) y demostró que el contenido de antocianinas (mg/100g equivalentes de cianidina-3-glucósido) no se ve alterado por la fórmula de abonamiento con NPK que se emplee. Para su estudio probó tres fórmulas: 120-120-100, 120-110-80 y 120-90-60, logrando, respectivamente, 1,64; 2,21 y 1,62 del equivalente de antocianinas; INIA 615 alcanzó 1,82, estadísticamente igual a PMV 581 que logró 1,67. En el presente estudio, el rendimiento promedio de mazorca de PMV 581 fue 2,15 t ha⁻¹, con 4,94 de antocianinas en coronta y brácteas. Por su parte Canteño, sólo rindió 1,90 t ha⁻¹, y 5,29 de antocianinas en corontas y brácteas. Puesto que el grano solo contribuye con una mínima parte de la antocianina total por planta (Li *et al.*, 2008), no se descarta la posibilidad de que en el futuro el agricultor y el consumidor final prefieran solo corontas y brácteas para extraer el pigmento. Esta tendencia estaría reforzada por la dificultad que tiene el agricultor para desgranar la mazorca y quedarse solo con las corontas, mientras no encuentre una alternativa económicamente adecuada para procesar o industrializar el grano. Una posibilidad es utilizar el grano morado para la elaboración de diferentes productos en la industria de panificación. Mientras tanto el ama de casa puede utilizar el grano una vez que extrae el pigmento hirviendo las mazorcas para hacer la «chicha morada» muy común en el Perú.

En algunos casos se está utilizando el grano para la alimentación animal.

Existen diferentes métodos de extracción de antocianina, que valdría la pena analizarlos convenientemente, para adoptar un protocolo único que satisfaga los requerimientos de los científicos para identificar materiales superiores y de los industriales que utilizan el producto en procesos agroindustriales.

Existen estudios similares en campo como el anteriormente mencionado por Pinedo (2015), quien evaluó dos variedades también consideradas en este trabajo, encontrando que el mayor rendimiento de mazorca y contenido de antocianinas lo alcanzó INIA 615 (3,67 t ha⁻¹ y 1,82 mg/100g equivalentes de cianidina-3-glucósido, respectivamente). Con una fertilización de 120-10-80 logró mayor rendimiento de mazorcas (3,69 t ha⁻¹) y sugiere que con mayores niveles de NPK se puede lograr mayor rendimiento de grano y un ligero incremento del contenido de antocianinas (alrededor de 0,02%). Los resultados de Pinedo (2015) fueron obtenidos en una sola localidad, mientras que los del presente trabajo provienen de 28 localidades en campos de agricultores, en los que se destacó la variedad INIA 601 con 2,77 t ha⁻¹ y 9,30 mg/100g equivalentes de cianidina-3-glucósido en coronta y brácteas (Tabla 4).

Respecto al efecto post cosecha, mientras más tiempo permanece el maíz en el campo, la concentración de antocianinas disminuye. Al respecto, Justiniano (2010) descubrió que hay una gradiente de disminución de intensidad de color morado en las corontas, conforme avanza de la madurez fisiológica hacia la madurez de cosecha, en correlación con el peso de la coronta. La cosecha de grano en estado pastoso-dentado tuvo el mejor resultado con 59,25 de intensidad de color; la cosecha a la madurez fisiológica muestra el segundo mejor resultado con 56,25 de intensidad de color; mientras que 30 días después de la madurez fisiológica o mazorca seca en planta, obtuvo 34,75 de intensidad de color ubicándose en el último lugar. Independientemente de cuál sea la variedad recomendada, este es un dato que debe tomarse muy en cuenta e incluirse en el protocolo de pos-cosecha si se quiere obtener buenos resultados económicos con la siembra de maíz morado en zonas altas de los Andes.

4. Conclusiones

En la zona altoandina de Perú se recomienda sembrar la variedad de maíz morado INIA 601 porque con buen manejo agronómico se puede lograr rendimientos superiores a 2,8

t ha⁻¹ de grano, superior al promedio nacional de maíz amiláceo, y un contenido promedio de antocianinas en las corontas y brácteas de 9,36%. Esta variedad es una alternativa para vincular al pequeño productor de maíz morado con la agroindustria y permitir incrementar sus ingresos. En este sentido, y con el fin de completar la cadena de este tipo de maíz, se debe investigar la cinética adecuada del secado de mazorcas a nivel de chacra, con el fin de obtener un producto con excelente calidad y cantidad de pigmento; así como en la extracción *in situ* de las antocianinas a nivel de productor o asociación de productores para permitirles mayores ingresos, evitando a los intermediarios.

Agradecimientos

A los agricultores del distrito de Ichocán-San Marcos, Cajamarca (Perú), que colaboraron durante todo el proceso de investigación. A los ejecutivos del Programa Nacional de Innovación Agraria – PNIA del Instituto Nacional de Innovación Agraria por el soporte logístico. Este trabajo fue ejecutado con el financiamiento del mencionado Programa, a través del Proyecto PNIA 022-PI.

ORCID

A. Medina-Hoyos  <https://orcid.org/0000-0003-4411-4424>

L. Narro-León  <https://orcid.org/0000-0002-0026-6840>

A. Chávez-Cabrera  <https://orcid.org/0000-0003-3412-6851>

Referencias bibliográficas

- Arroyo, J.; Raez, E.; Rodríguez, M.; *et al.* 2008. Actividad antihipertensiva y antioxidante del extracto hidroalcohólico atomizado de maíz morado (*Zea mays* L.) en ratas. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* 25(2): 195-199.
- Castañeda, B.; Ibañez, L.; Manrique, R. 2005. Estudio fitoquímico farmacológico del *Zea mays* L. amilaceae st. *Cultura* 19(19): 105-130.
- CIMMYT. 2004. Programa de Maíz del CIMMYT. Enfermedades del maíz: una guía para su identificación en el campo. Cuarta edición. México, D.F.: CIMMYT.
- Cuevas, E.; Hillebrand, S.; Antezana, A.; *et al.* 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.
- Duangpapeng, P.; Lertrat, K.; Lomthaisong, K.; *et al.* 2019. Variability in anthocyanins, phenolic compounds and antioxidant capacity in the tassels of collected waxy corn germplasm. *Agronomy* 9(158): 1-12.
- Edmeades, G.O.; Bolaños, J.; Elings, J.M.; *et al.* 2000. The role and regulation of the anthesis-silking interval in maize. In: M. Westgate, K. Boote, editors, *Physiology and Modeling Kernel Set in Maize*, CSSA Spec. Publ. 29. CSSA and ASA, Madison, WI. p. 43-73.
- Fernandez-Aulis, F.; Hernandez-Vazquez, L.; Aguilar-Osorio, G.; *et al.* 2019. Extraction and identification of anthocyanins in corn cob and corn husk from Cacahuacintle Maize. *Journal of Food Science* 84: 954-962.
- Ferron, L.; Colombo, R.; Mannucci, B.; *et al.* 2020. A new Italian purple corn variety (Moradyn) byproduct extract: antiglycative and hypoglycemic in vitro

- activities and preliminary bioaccessibility studies. *Molecules* 25: 1958.
- Gauch, H.J.; Zobel, R. 1988. Predictive and postdictive success of statistical analysis of yield trials. *Theor. Appl. Genet.* 76: 1-10.
- Gorriti, A.; Quispe, F.; Arroyo, J.; *et al.* 2009. Extracción de antocianinas de las corontas de *Zea mays* L. «maíz morado». *Ciencia e Investigación* 12(2): 64-74.
- Guillén-Sánchez, J.; Mori-Arismendi, S.; Paucar-Menacho, L. 2014. Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea mays* L.) var. subnigroviolaceo. *Scientia Agropecuaria* 5: 211-217.
- Gullón, P.; Eibes, G.; Lorenzo, J.M.; *et al.* 2020. Green sustainable process to revalorize purple corn cobs within a biorefinery frame: Co-production of bioactive extracts. *Science of The Total Environment* 709: 136236.
- He, J.; Giusti, M.M. 2010. Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties. *Annual Review of Food Science and Technology*. Palo Alto, California 1: 163-187.
- Heras, I.; Alvis, A.; Arrazola, G. 2013. Optimización del proceso de extracción de antocianinas y evaluación de la capacidad antioxidante de berenjena (*Solana melongena* L.). *Información Tecnológica* 24(5): 93-102.
- INDECOPI. 2016. Maíz Morado. Comisión Nacional contra la Biopiratería. Año 2, n. 2. Dirección de Inventiones y Nuevas Tecnologías Comisión Nacional contra la Biopiratería del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual.
- Jing, P.; Giusti, M.M. 2007. Effects of extraction conditions on improving the yield and quality of an anthocyanin-rich purple corn (*Zea mays* L.) color extract. *Journal Food Science* 72(7): 363-368.
- Jing, P.; Noriega, V.; Schwartz, S.J., *et al.* 2007. Effects of growing conditions on purple corn cob (*Zea mays* L.) anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55(21): 8625-8629.
- Justiniano, A.E. 2010. Fenología e intensidad de color en corontas del maíz morado (*Zea mays* L.) en sus diferentes estados de desarrollo en la localidad de La Molina. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Producción Agrícola. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Lao, F.; Sigurdson, G.; Giusti, M. 2017. Health benefits of purple corn (*Zea mays* L.) phenolic compounds. In: *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 16(2): 234-246.
- Li, C.Y.; Kim, H.W.; Won, S.R.; *et al.* 2008. Corn husk as a potential source of anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56(23): 11413-11416.
- Mansilla, P.S.; Nazar, M.C. 2020. Flour functional properties of purple maize (*Zea mays* L.) from Argentina. Influence of environmental growing conditions. *International Journal of Biological Macromolecules* 146: 311-319.
- Manzano, P.A. 2016. Extracción de antocianinas a partir de coronta de maíz morado (*Zea mays* L.) para el aprovechamiento de residuos agrícolas. Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Bioquímico, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Ecuador.
- MINAGRI. 2017. Oficina de Información Agraria del Ministerio de Agricultura y Riego. Estadística Agraria Mensual.
- MINAM. 2018. Línea de base de la diversidad genética del maíz peruano con fines de bioseguridad. Ministerio del Ambiente. Primera edición. Grupo Raso. Lima, Perú, 144 pp.
- Monroy, Y.M.; Rodrigues, R.A.F.; Sartoratto, A. *et al.* 2020. Purple corn (*Zea mays* L.) pericarp hydroalcoholic extracts obtained by conventional processes at atmospheric pressure and by processes at high pressure. *Braz. J. Chem. Eng.* 37: 237-248.
- Moreno-Loaiza, O.; Paz-Aliaga, A. 2010. Efecto vasodilatador mediado por óxido nítrico del extracto hidroalcohólico de *Zea mays* L. (maíz morado) en anillos aórticos de rata. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* 27(4): 527-531.
- Pinedo, R. 2015. Niveles de fertilización en dos variedades de maíz morado (*Zea mays* L.) en la localidad de Canaán – Ayacucho. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Producción Agrícola. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Sheng, S.; Li, T.; Liu, R.H. 2018. Corn phytochemicals and their health benefits. *Food Science and Human Wellness* 7: 185-195.
- Simla, S.; Boontang, S.; Harakotr, B. 2016. Anthocyanin content, total phenolic content, and antiradical capacity in different ear components of purple waxy corn at two maturation stages. *Australian Journal of Crop Science* 10(5): 675-682.
- Tian, X.Z.; Paengkoum, P.; Paengkoum, S.; *et al.* 2018. Purple corn (*Zea mays* L.) stover silage with abundant anthocyanins transferring anthocyanin composition to the milk and increasing antioxidant status of lactating dairy goats. *J. Dairy Sci.* 102(1): 413-418.
- Tian, X.; Xin, H.; Paengkoum, P.; *et al.* 2019. Effects of anthocyanin-rich purple corn (*Zea mays* L.) stover silage on nutrient utilization, rumen fermentation, plasma antioxidant capacity, and mammary gland gene expression in dairy goats. *Journal of Animal Science* 97:1384-1397.
- Zhang, Q.; Gonzales de Mejia, E.; Luna-Vidal, D.; *et al.* 2019. Relationship of phenolic composition of selected purple maize (*Zea mays* L.) genotypes with their anti-inflammatory, anti-adipogenic and anti-diabetic potential. *Food Chemistry* 289: 739-750.