

Estudio comparativo de las características agronómicas y químicas de tres cultivares de maíz morado en Perú

Melissa Rabanal Atalaya^{1§}
Alicia Medina Hoyos²

¹Facultad de Química e Ingeniería Química-Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Av. Universitaria s/n, Lima, Perú. CP. 15081. ²Estación Experimental Agraria Baños del Inca-Desarrollo Tecnológico Agrario-Instituto Nacional de Innovación Agraria Jr. Wiracocha s/n, Baños del Inca, Cajamarca, Perú. CP. 06004.

§Autor para correspondencia: mrabanala@unmsm.edu.pe.

Resumen

En Perú, debido a la gran diversidad geológica y climática, hay diferentes localidades donde aún no se han realizado investigaciones agronómicas y químicas sobre el maíz morado. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar rendimiento, características morfológicas y químicas de tres variedades del maíz morado, las cuales fueron: INIA-601, variedad experimental denominado MM y Canteño, sembrados en cinco localidades de los Departamentos de La libertad y Cajamarca, ubicados en el norte del Perú. Se evaluaron variables agronómicas, el rendimiento y contenido de antocianinas en el olote como brácteas. Los resultados mostraron que la mejor localidad fue Shaullo, con los cultivares de INIA-601 y Canteño, seguido de MM, con valores de rendimiento de 1.7, 1.6 y 1.6 t ha⁻¹, respectivamente, con valores promediados de altura de planta de 1.7 m, de mazorca de 0.76 m, prolificidad cerca de 1, cantidad de antocianinas en el olote de 4.8 mg g⁻¹ y en las brácteas de 1.6 mg g⁻¹ y en la pudrición de mazorcas el INIA-601 y Canteño obtuvieron valores bajos y muy cercanos de 5.9% y 5.4%, respectivamente; mientras que el MM, 9.6%.

Palabras claves: antocianinas, comportamiento agronómico, olote.

Recibido: noviembre de 2021

Aceptado: febrero de 2022

Introducción

Los seres humanos necesitan oxígeno para la producción de energía; sin embargo, su exceso es nocivo debido a la formación de especies reactivas. Para remover estas especies, el organismo genera las moléculas antioxidantes, que incluyen enzimas, las cuales son capaces de sustraer un electrón. Cuando esto no es compensado, se genera un estrés oxidativo, el cual es la causa de diferentes procesos fisiológicos como el envejecimiento y enfermedades humanas como el cáncer, trastornos neurodegenerativos, metabólicos, digestivos y cardiovasculares (Sánchez-Valle y Méndez-Sánchez, 2013). Y con la finalidad de disminuir estos inconvenientes, es que es necesario realizar estudios agronómicos y químicos, que incluyan moléculas antioxidantes como las antocianinas del maíz morado, el cual es consumido a nivel nacional e internacional.

La molécula más importante dentro del maíz morado es la antocianina, que desde el punto de vista químico es una molécula polihidroxilada glicosilada o polimetoxi derivada de 2-fenilbenzopirilio, cuyo peso molecular es entre 400 a 1200 KDa. La antocianina es una forma glicosilada y la antocianidina es la aglicona, la cual están agrupadas es 3-hidroxi-antocianidina, 3-desoxiantocianidinas y O-metilantocianidinas (Khoo *et al.*, 2017). La molécula más abundante dentro de las antocianidinas es la cianidina-3-glucósido responsable de 70% de la intensidad de color, seguido de la pelargonidina y peonina (Castañeda *et al.*, 2015; Medina-Hoyos, 2020).

Las antocianinas son ampliamente usadas en una gran diversidad de industrias como la alimenticia, cosmética, fibras textiles, médica y también es ampliamente usado en la industria farmacéutica, por sus características medicinales pudiendo prevenir enfermedades degenerativas como la arteriosclerosis, diabetes, artritis, reduce la presión arterial y el colesterol en la sangre, anti mal del Parkinson, antitumoral (Somavat *et al.*, 2016; Lao *et al.*, 2017; Yoon-Mi *et al.*, 2017; Roy y Jhon-Whang, 2020; Yazhen, 2020), antiinflamatorio (Zhang *et al.*, 2019) y anticancerígeno del colon, pecho, piel, próstata, entre otros (Lim *et al.*, 2013; Tsai *et al.*, 2014; Peiffer *et al.*, 2014; Forester *et al.*, 2014).

Cabe señalar, que se ha probado que las antocianinas tienen efectos benéficos en actividades biológicas especialmente en el poder antioxidante alto (Somavat *et al.*, 2016; Tian *et al.*, 2019), las cuales son utilizadas en una amplia gama de productos alimenticios como sopas, bebidas típicas nacionales como la ‘chicha morada’ y en postres (Pedraza *et al.*, 2017; Cristianini, 2020).

En Perú, la producción del maíz morado se realiza en los Departamentos de Cajamarca, Ayacucho, Ancash, Lima y Arequipa (Ccaccya *et al.*, 2019) y para aportar en el conocimiento del comportamiento de su producción, en el presente estudio se desarrollan ensayos agronómicos y químicos en tres cultivares del maíz morado: INIA-601, MM, Canteño, sembrado en cinco localidades pertenecientes a los Departamentos de la Libertad y Cajamarca, con la finalidad de conocer su adaptación y respuesta en el contenido de antocianinas tanto en olote como en brácteas.

Materiales y métodos

La campaña agrícola se llevó a cabo durante los meses de octubre hasta abril de 2017-2018 en cinco localidades de los Departamentos de Cajamarca y La libertad en el Perú, cuyos detalles de coordenadas geográficas, altitud, temperatura promedio y humedad relativa se detallan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Ubicación y características climáticas en las localidades estudiadas en el maíz morado.

Departamento	Localidades	Coordenadas geográficas	Altitud (m)	Temperatura promedio	Humedad relativa	Fuente
Cajamarca	Cajabamba	7°37'25" S, 78°2'49" O	2 648	8.1 a 19.9°C	39.8 a 90%	Weather Underground (2020)
	Namora	7°12'6" S, 78°19'29" O	2 743			
	Shaullo Chico	7°10'24" S, 78°26'33" O	2 789			
La Libertad	Uchuy	7°39'17.9 S, 77°49'6.7" O	2 714			
	Vista Florida	8°12'49.6" S, 77°27'52.9" O	2 809			

Los análisis de las características fisicoquímicas del suelo en los diferentes lugares estudiados son mostrados en el Cuadro 2, los cuales se tomaron en cuenta para la fertilización, cuya cantidad usada de N-P-K en forma de N, P₂O₅ y K₂O fueron en Vista Florida (145-65-45), Uchuy (120-65-55), Shaullo (120-60-50), Namora (120-50-45) y Cajabamba (120-60-50) kg ha⁻¹, respectivamente. El abonamiento se realizó con guano de isla dos veces, siendo la primera aplicación en la siembra y la segunda, al aporque.

Cuadro 2. Características fisicoquímicas del suelo en las cinco localidades.

Departamento	Localidades	N (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	K ₂ O (kg ha ⁻¹)
La Libertad	Vista Florida	145	65	45
	Uchuy	120	65	55
Cajamarca	Shaullo	120	60	50
	Namora	120	50	45
	Cajabamba	120	60	50

Diseño experimental y análisis estadístico

El estudio se realizó bajo el diseño de bloques completamente al azar, usando la densidad de siembra de 50 000 plantas ha⁻¹, sembrado en cinco surcos de 5.5 m de largo a 80 cm entre surcos, 50 cm entre golpes, dos semillas por golpe con cuatro repeticiones, realizando la evaluación en los tres surcos centrales. Se evaluaron las siguientes cultivares: INIA-601, morado mejorado denominado MM y Canteño, los cuales se describen a continuación.

INIA-601. Cultivar formada por el Instituto Nacional de Innovación Agraria, en la Estación Experimental Agraria (EEA) de Cajabamba en Cajamarca, formada por 256 progenies, de los cuales 108 progenies corresponden al cultivar 'Morado de Caraz' y las 148 progenies restantes al 'Negro de Parubamba' (Pedraza *et al.*, 2017; Medina-Hoyos *et al.*, 2020).

Morado Mejorado. Cultivar en experimentación proveniente de la EEA de Agraria Baños del Inca en Cajamarca, el cual es derivado del INIA-601 mediante la utilización de progenies S₁ (Medina-Hoyos *et al.*, 2020).

Canteño. Cultivar precoz cuyo cultivo se da en las partes altas del valle del río Chillón, en el Departamento de Lima entre 1 800 a 2 500 m. Se caracteriza por presentar granos grandes dispuestos en mazorcas con hileras bien definidas (Quevedo, 2013).

Toma de datos

Se determinó el peso de campo, % de desgrane y factor de área. Se seleccionaron aleatoriamente diez plantas por tratamiento para determinar los días al 50% de la floración masculina (FM), los días al 50% de la floración femenina (FF), altura de la planta (AP), altura de la mazorca (AM), prolificidad (N° mazorcas/planta), pudrición de mazorcas (PM). El rendimiento (t ha⁻¹) se calculó considerando el contenido de humedad de la semilla al 14%, usando la siguiente fórmula: $RGN = PC * \left(\frac{10}{AEP} * \frac{(100 - \%H)}{86} \right) * D$. Donde: RGN es el rendimiento de grano corregido al 14% de humedad en t ha⁻¹; PC es el peso de campo; % H es el porcentaje de humedad del grano (100 - %H) 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 80.

Método de análisis para la determinación de antocianinas

Se seleccionaron aleatoriamente diez plantas por tratamiento para determinar el contenido de antocianinas en el olote y en las brácteas en los cultivares INIA-601, MM y Canteño en las cinco localidades donde se desarrolló el experimento. A 1 g de olote o brácteas, previamente secas y molidas, se agregó 20 ml de una solución de etanol al 20% a un pH de 2 durante 60 min con agitación constante a 90 °C en Baño María, cuyo extracto obtenido fue filtrado a través de papel Whatman núm. 1. Una alícuota del extracto se diluyó en un matraz de 25 ml con soluciones buffer de cloruro de potasio a pH de 1 y acetato de sodio a pH de 4.5, midiéndose el contenido de antocianinas según el método del pH diferencial descritos por Giusti y Wroslstad (2001).

Las absorbancias fueron leídas en el espectrofotómetro en el rango visible a las longitudes de onda de 510 y 700 nm, en el intervalo de 20 a 50 min, luego de la preparación. Su contenido se expresó como cianidina-3-glucósido, de acuerdo con la expresión: $A = (A_{510 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH } 1} - (A_{510 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH } 4.5}$. Antocianinas totales $\left(\frac{\text{mg}}{\text{g}} \right) = \frac{A \times MW \times FD \times V}{\epsilon \times l \times W}$, donde: MW= peso molecular de la cianidina-3-glucósido de 449.2 g mol⁻¹; FD= factor de dilución; l= longitud de paso de celda en cm; ε= coeficiente de extinción molar de 26 900; V= volumen en ml del solvente de extracción; A= absorbancia y W= peso de la muestra en g. Los análisis se realizaron por triplicado.

Análisis de los datos

Se analizaron los datos de rendimiento, variables morfológicas y químicas obtenidos en las diferentes localidades, se calcularon las medias por localidad, genotipos y por genotipo*localidad y se compararon con base en la prueba de la diferencia significativa con LSD 0.05, ambos en el software estadístico InfoStat, versión 2020 (Rienzo *et al.*, 2020).

Resultados y discusión

Los análisis estadísticos se muestran en el Cuadro 3, en los cuales se muestra las fuentes de interacción con las variables agronómicas y químicas utilizadas en el estudio del maíz morado.

Cuadro 3. Muestra los valores del cuadrado medio del análisis de variancia de las diferentes variables utilizadas en el estudio de los cultivares del maíz morado.

Fuente de variación	GL	RGN	FF	FM	HP	HM	Prolif	PM	CAO	CAB
Localidad	4	5.36	6629.85	5487.19	1.72	3.2	7.45	273.16	9.85	0.85
Genotipo	2	0.49	9.32	9.22	0.01	0.0008	1	59.73	5.86	6.84
Bloques	3	0.03	11.08	7.2	0.01	0.0015	0.02	0.73	0.01	0.02
Localidad x genotipo	8	0.14	22.59	45.28	0.01	0.03	0.25	91.14	3.23	0.73
Error	42	0.07	15.02	8	0.01	0.0036	0.02	1.61	0.01	0.01
Total	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV	-	16.68	3.31	2.5	3.89	4.72	9.84	10.51	3.11	5.59

GL= grados de libertad; RGN= rendimiento; FF= floración femenina; FM= floración masculina; HP= altura de la planta; HM= altura de mazorca; Prolif= prolificidad; PM= pudrición de mazorcas; CAO= contenido de antocianina en el olote; CAB= contenido de antocianina en las brácteas y CV= coeficiente de variación.

Las medias por genotipos y por localidades de las diferentes variables agronómicas y químicas usadas del maíz morado son mostradas en los Cuadros 4 y 5, respectivamente. El Cuadro 6 muestra las medias por genotipo*localidad del rendimiento, altura de planta y mazorca de los tres cultivares usados en las cinco localidades del maíz morado, los cuales muestran que las medias por genotipo indican que los cultivares que destacan son el Canteño e INIA-601, mostrando un valor estadístico igual de 1.5 t ha⁻¹ y las medias por localidades indican que Cajabamba tuvo el más alto rendimiento con 2.4 t ha⁻¹, además cuando se realiza el análisis de genotipo*localidad, evidencia que los cultivares con más alto rendimiento se evidenciaron en Cajabamba, quien fue el Canteño con 2.8 t ha⁻¹, seguido del INIA-601 con 2.3 t ha⁻¹ y del MM con 2.1 t ha⁻¹, luego le siguió la localidad de Shaullo, cuyos valores fueron de 1.7, 1.6 y 1.6 t ha⁻¹ valores solo un poco más altos que los obtenidos en Vista Florida con 1.5, 1 y 1.3 t ha⁻¹ para el Canteño, INIA-601 y MM, respectivamente; sin embargo, en Uchuy y en Namora los valores en los tres cultivares fueron bajos, sugiriendo un mayor requerimiento de fertilizantes y recurso hídrico.

Cuadro 4. Valores de medias por genotipos de las diferentes variables utilizadas en el desarrollo agronómico y químico del maíz morado.

Genotipo	RGN (t ha ⁻¹)	FF (días)	FM (días)	HP (m)	HM (m)	Prolif	PM (%)	CAO (mg g ⁻¹)	CAB (mg g ⁻¹)
Canteño	1.5 a	117.3 a	113.6 a	1.84 a	1.28 a	1.9 a	12.2 b	2.8 c	0.8 c
MMM	1.2 b	117.8 a	113.5 a	1.82 a	1.27 a	1.5 b	13.8 a	3.8 a	1.5 b
INIA-601	1.5 a	116.5 a	112.4 a	1.8 a	1.28 a	1.5 b	10.3 c	3 b	1.9 a

RGN= rendimiento; FF= floración femenina; FM: floración masculina; HP= altura de planta; HM= altura de mazorca; Prolif= prolificidad; PM= pudrición de mazorcas; CAO= contenido de antocianina en el olote; CAB= contenido de antocianina en las brácteas.

Cuadro 5. Valores de medias por localidad de las diferentes variables utilizadas en el desarrollo agronómico y químico del maíz morado.

Localidad	RGN (t ha ⁻¹)	FF (días)	FM (días)	HP (m)	HM (m)	Prolif	PM (%)	CAO (mg g ⁻¹)	CAB (mg g ⁻¹)
Uchuy	1 d	153.3 a	147.1 a	1.5 d	1.12 c	2.8 a	16.4 a	2.9 c	1.2 b
Shaullo	1.6 b	128.9 b	121.7 b	1.66 c	0.76 d	0.8 e	7 c	4.8 a	1.6 a
Vista Florida	1.3 c	101.7 c	99.3 c	2.28 a	1.31 b	1.5 c	9 b	3 b	1 c
Cajabamba	2.4 a	101.7 c	99.8 c	2.17 b	2.13 a	2 b	10.2 b	2.7 d	1.5 a
Namora	0.6 e	100.3 c	97.8 c	1.48 d	1.07 c	1 d	17.8 a	2.6 d	1.6 a

RGN= rendimiento; FF= floración femenina; FM= floración masculina; HP= altura de planta; HM= altura de mazorca; Prolif.: prolificidad; PM= pudrición de mazorcas; CAO= contenido de antocianina en el olote; CAB= contenido de antocianina en las brácteas.

Cuadro 6. Valores de rendimiento, altura de planta y mazorca en las cinco localidades en los tres cultivares usados en el maíz morado.

Localidad	Rendimiento de grano			Altura de planta			Altura de mazorca		
	INIA-601	MMM	Canteño	INIA-601	MMM	Canteño	INIA-601	MMM	Canteño
	(t ha ⁻¹)			(m)			(m)		
Vista Florida	1.54 bc	0.98 c	1.3 bc	2.32 a	2.27 a	2.26 a	1.39 b	1.34 b	1.2 b
Uchuy	1.13 c	0.88 c	0.8 c	1.46 d	1.51 bc	1.53 c	1.19 c	1.04 c	1.13 bc
Shaullo	1.71 b	1.59 b	1.6 b	1.66 c	1.61 b	1.73 b	0.76 d	0.68 d	0.84 d
Namora	0.63 d	0.45 d	0.8 c	1.45 d	1.47 c	1.53 c	1.03 c	1.08 c	1.09 c
Cajabamba	2.29 a	2.07 a	2.8 a	2.11 b	2.22 a	2.18 a	2.05 a	2.22 a	2.13 a
DMS	0.5	0.4	0.7	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1
CV	15.41	15.01	22.36	4.6	3.3	3.82	6.6	2.54	3.7

Las diferencias en las letras indican que son significativos a un nivel de ($p \leq 0.05$).

En un estudio realizado en 28 ambientes y usando seis cultivares del maíz morado en la localidad de San Marcos en el Departamento de Cajamarca reportaron rendimientos de los cultivares INIA-601 (2.77 t ha⁻¹), MM (2.5 t ha⁻¹) y Canteño (1.9 t ha⁻¹), siendo el valor de Canteño más bajo del encontrado en el presente trabajo de investigación y los cultivares INIA-601 y MM solo un poco más altos (Medina-Hoyos *et al.*, 2020).

Las medias por genotipos muestran que los valores la altura de planta y mazorca son estadísticamente iguales a 1.8 m y 1.2 m, respectivamente y las medias por localidades nos indican que Vista Florida resalta con la más alta altura de la planta con 2.28 m. Las medias por localidad*genotipo de la altura de planta muestran que Cajabamba y Vista Florida presentan los más altos valores, en los tres genotipos con medias de altura de planta superiores a 2 m y mientras que las medias de localidad*genotipo de altura de mazorca evidencian que Cajabamba presenta alturas altas superiores a 2 m y en Vista Florida presenta en promedio 1.3 m en los tres genotipos, mientras que en la localidades de Uchuy, Shaullo y Namora los valores de alturas de planta y mazorca fueron menores a los anteriores y muy similares, cuyo promedio de altura de planta fue de 1.5 m y de altura de mazorca de 0.9 m en los tres cultivares.

Pedraza *et al.* (2017) reportó que la altura de la planta para la variedad INIA-601 fue de 2.16 m, cuyo ensayo se realizó en la región Amazonas a 2 820 m, cuyo valor es más bajo que el reportado en Vista Florida con 2.32 m y similar al encontrado en Cajabamba con 2.11 m; sin embargo, es más alto que los encontrados en Uchuy, Shaullo y Namora con 1.46, 1.66 y 1.45 m, respectivamente, mientras que el valor obtenido de la altura de mazorca fue de 1.24 m, valor similar al obtenido en Vista Florida y Uchuy, más alto que los obtenidos en Cajabamba y Namora y mucho más bajo que el encontrado en Cajabamba.

Las medias por genotipos de la FF y FM muestran que no hay diferencia significativa entre genotipos, siendo en promedio la FF de 117 días y la FM de 113 días. Las medias por localidades nos indican que el más precoz se llevó a cabo en Namora, con una FF de 100 días y su FM con 97.8 días, seguido de Vista Florida y Cajabamba, cuyos valores fueron muy similares de FF con un valor promedio de 101 días y su FM con 99 días. Los análisis de genotipo*localidad muestran que en la localidad de Namora destacaron los genotipos siendo los más precoces tanto en el FF como en el FM, siendo para el cultivar INIA-601 (96.8 y 95.5 d), MM (102.8 y 101 d) y el Canteño (101.5 y 97 d), respectivamente, tal como se muestra en el (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores del florecimiento femenino y masculino en los tres cultivares del maíz morado.

Localidad	Florecimiento femenino			Florecimiento masculino		
	INIA-601	MMM	Canteño	INIA-601	MMM	Canteño
	(días)			(días)		
Vista Florida	101 c	102 c	102 c	99.5 c	102 c	96.5 c
Uchuy	155 a	151.3 a	153.8 a	150 a	143 a	148.3 a
Shaullo	130.2 b	130.5 b	126 b	121 b	119.5 b	124.5 b
Namora	96.8 c	102.8 c	101.5 c	95.5 c	101 c	97 c
Cajabamba	99.3 c	102.5 c	103.3 c	95.8 c	102 c	101.5 c
DMS	4.9	12.4	5.8	4.5	4.3	8.7
CV	1.94	4.82	2.25	1.82	1.75	3.49

Las diferencias en las letras indican que son significativos a un nivel de ($p \leq 0.05$).

Virgen-Vargas *et al.* (2014) dice que existe un período de cinco días para eliminar la espiga del progenitor hembra, para conservar la calidad genética y evitar las autofecundaciones. Los genotipos en estudio de manera general tanto en las líneas precoces como tardías tuvieron una sincronía entre la floración masculina y femenina de dos a ocho días, en ambos casos los datos indican la facilidad o dificultad para realizar el desespigamiento si las líneas se utilizan como hembra. Cabe señalar, que los días de floración son influidos por el ambiente en función de la altura sobre el nivel del mar y la temperatura, existen materiales que por su origen tropical reducen sus días a floración en lugares cálidos y a una mayor altura. Por ello, antes de definir dónde se va a producir la semilla híbrida se debe conocer el genotipo, el ambiente y su interacción (Virgen-Vargas *et al.*, 2014).

La prolificidad, es el número de mazorcas plantas⁻¹, es importante ya que de acuerdo con la cantidad de mazorcas por plantas y esto multiplicado por el número de plantas producidas en una hectárea, se obtiene el número total de mazorcas por hectárea, lo cual es importante conocer ya que el precio del grano morado seco es de \$2.00 kg⁻¹ y el precio de corontas o brácteas secas es de \$20.00 kg⁻¹.

Por lo tanto, los 700 kg de corontas y brácteas secas y picadas generan un ingreso de \$14 000.00. Esto significa que produciendo en una hectárea 2 500 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 \$19 000.00. Descontando el costo de producción que se aproxima a \$8 000 ha⁻¹ (MINAGRI, 2017), la utilidad neta sería \$11 000.00 ha⁻¹.

Las medias por genotipos indican que el valor de prolificidad más alto se da en el Canteño y las medias por localidad indican que los valores más resaltantes se dan en Uchuy y en Cajabamba con 2.8 y 2, respectivamente. Las medias de genotipos*localidades indican que los valores más altos de prolificidad se dan en Uchuy con 2.3, 2.5 y 3.4 para los genotipos INIA-601, MM y Canteño, respectivamente.

Las medias por genotipo de PM indican que el cultivar INIA-601 presentó el menor valor de 10.3% y las medias por localidad muestran que Shaullo presenta el menor valor de 7%. Las medias de genotipos*localidades de PM evidencian que en la localidad de Shaullo mostró los valores más bajos en los tres cultivares INIA-601 (5.9%), MM (9.6%) y el Canteño (5.4%), en Vista Florida, los cultivares Canteño e INIA-601 mostraron valores muy parecidos promediados de 9.5% y el MM, con el valor más bajo de 7.9%. En Cajabamba, los genotipos variaron desde 7 hasta 10%, mientras que los mayores valores de pudrición de mazorca fueron en Namora y en Uchuy, los cuales variaron desde 9.7% hasta 25.3%.

Medina-Hoyos *et al.* (2020) indica que la PM es causada principalmente por hongos del género *Fusarium* sp, por el daño de los pájaros, lo cual hace incrementar el daño de los hongos, por el mosquito *Euxesta* sp, que ataca a la mazorca desde la formación de los pistilos y continua durante el desarrollo del grano produciendo en el ápice de la mazorca una zona húmeda que facilita la proliferación de los hongos y consecuentemente la pudrición de mazorcas, cuyo impacto depende del genotipo o variedad y de los factores ambientales en que se desarrolla el cultivo (Cuadro 8).

Cuadro 8. Valores de prolificidad y pudrición de mazorcas en los cultivares del maíz morado.

Localidad	Prolificidad			Pudrición de mazorcas (%)		
	INIA-601	MMM	Canteño	INIA-601	MMM	Canteño
Vista Florida	1.5 b	1.3 c	1.7 c	9.5 b	7.9 d	9.4 c
Uchuy	2.3 a	2.5 a	3.4 a	9.7 b	14.3 b	25.3 a
Shaullo	0.7 d	0.9 d	0.8 d	5.9 c	9.6 cd	5.4 e
Namora	1 c	0.9 d	1.1 d	17 a	23.4 a	13.1 b
Cajabamba	1.7 b	1.9 b	2.3 b	9.4 b	13.6 bc	7.7 d
DMS	0.3	0.3	0.5	1.2	4.5	0.9
CV	8.8	7.8	11.2	5.6	14.8	3.4

Las diferencias en las letras indican que son significativas a un nivel de ($p \leq 0.05$).

Las medias por genotipo de CAO muestran que el genotipo que resalta es el MM con 3.8 mg g⁻¹, seguido del INIA-601 con 3 mg g⁻¹, y en las medias por genotipo de la CAB evidencian que el INIA-601 mostró el valor más alto de 1.9 mg g⁻¹ seguido del MM con 1.5 mg g⁻¹. Las medias por localidad muestran que, en el CAO, que la localidad que más resaltó fue Shaullo con 4.8 mg g⁻¹ y en CAB, en todos los casos presentaron variaciones pequeñas entre 1 a 1.6 mg g⁻¹. Las medias de

genotipo*localidad de la cantidad de antocianinas en el olote y en las brácteas se muestran en el Cuadro 9. Los análisis de la CAO muestran que en Shaullo todos los cultivares mostraron los más altos valores, siendo para el INIA-601 (4.6), MM (4.9) y el Canteño (5) mg g^{-1} . También resalta el cultivar MM con valores similares y promediables de 4.6 mg g^{-1} tanto en Uchuy como en Vista Florida, todos los demás cultivares mostraron valores solo un poco inferiores a 3 mg g^{-1} en los cinco lugares; mientras que CAB en todos los casos, fueron inferiores al del olote, resaltando el INIA-601 con 2.3 mg g^{-1} en Uchuy, seguido de los cultivares INIA-601 y MM con un valor promediable de 2 mg g^{-1} en Namora.

Cuadro 9. Valores de las antocianinas en el olote y en las brácteas en cultivares del maíz morado.

Localidad	Contenido de antocianinas en el olote			Contenido de antocianinas en las brácteas		
	INIA-601	MMM	Canteño	INIA-601	MMM	Canteño
	(mg g ⁻¹)			(mg g ⁻¹)		
Vista Florida	2 e	4.7 b	2.5 c	1.6 d	0.6 d	0.8 b
Uchuy	2.4 d	4.5 c	1.9 d	2.3 a	1.2 c	0.1 c
Shaullo	4.6 a	4.9 a	5 a	1.8 cd	1.9 ab	1.1 a
Namora	3.3 b	2.8 d	1.8 d	2.1 b	2 a	0.7 b
Cajabamba	2.9 c	2.4 e	2.9 b	1.8 c	1.8 b	1.1 a
DMS	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1
CV	3.1	2.1	4.5	3.8	7	8.8

Las diferencias en las letras indican que son significativos a un nivel de ($p \leq 0.05$).

Al comparar los resultados obtenidos en la interacción de genotipo*localidad del rendimiento, altura de la planta y mazorca, prolificidad y pudrición, se observa que, en el rendimiento promedio de genotipos, en la localidad de Cajabamba presenta mayor rendimiento de 2.4 t ha^{-1} que Shaullo con 1.7 t ha^{-1} ; sin embargo, Cajabamba muestra mayor pudrición de mazorcas, que va desde 7.7% hasta 13.6% y en Shaullo, varía desde 5.4% hasta 9.6%. La altura de planta y mazorca en Cajabamba presenta valores superiores a los 2 m, lo cual dificulta al productor de colectar el olote, mientras que, en Shaullo, la altura de planta es 1.7 m y la quien presenta altura de mazorca de 0.76 m. Por otro lado, en el contenido de antocianinas en el olote Shaullo es mayor que en Cajabamba, con promedio de 4.8 mg g^{-1} y 2.7 mg g^{-1} y presenta valores parecidos en el contenido de antocianinas en las brácteas, razón por la cual se sugiere que la localidad para producir el maíz morado se realice en Shaullo resaltando a los cultivares INIA-601 y Canteño, seguido del MM.

Las antocianinas en el maíz morado, tal como indican Li *et al.* (2008); Fernández-Aulis *et al.* (2019), son producidas en toda la planta, especialmente en las brácteas y en el olote, aunque sus cantidades varían significativamente entre éstas según el fenotipo y el tipo de extracción química que se utilice, ya sea técnicas clásicas como la extracción sólido-líquido en soluciones acuosas y la maceración (Doroteo *et al.* 2013; Ccaccya *et al.*, 2019) o técnicas emergentes como el ultrasonido, calentamiento óhmico, microondas, fluido supercrítico y alta presión isostática (Monroy *et al.* 2016; Muangrat *et al.* 2017; Itthisoponkul *et al.*, 2018).

En un trabajo reportado por Medina-Hoyos, 2020 en la localidad de San Marcos en Cajamarca, muestra que la cantidad de antocianinas en el olote y brácteas fue para el INIA (6.12 y 3.18), MM (5.63 y 1.76) y Canteño (4.66 y 0.63) mg g^{-1} , siendo éstos algunos resultados con características similares a los reportados en el presente estudio.

Conclusiones

Las evaluaciones de las diferentes variables agronómicas, rendimiento y el contenido de antocianinas en los tres cultivares del maíz morado en las cinco localidades pertenecientes a los departamentos de La Libertad y Cajamarca muestran que la mejor localidad fue Shaullo, cuyos rendimientos de los cultivares fueron del INIA-601, Canteño y MM, 1.7, 1.6 y 1.6 t ha⁻¹, respectivamente, con valores promediados de altura de planta de 1.7 m, de mazorca de 0.76 m, prolificidad cerca de 1, cantidad de antocianinas en el olote de 4.8 mg g⁻¹ y en las brácteas de 1.6 mg g⁻¹. Sin embargo, en la pudrición de mazorcas el INIA-601 y Canteño obtuvieron valores bajos y muy cercanos de 5.9% y 5.4%, respectivamente; mientras que el MM, 9.6%, razón por la cual se recomienda la elección prioritaria de los cultivares INIA-601 y Canteño. Se sugiere que se realice ensayos del contenido de antocianinas con otras técnicas de extracción clásicas o emergentes tanto en la cosecha como en diferentes tiempos de la poscosecha.

Literatura citada

- Castañeda, S. A. y Guerrero, B. J. A. 2015. Pigmentos en frutas y hortalizas rojas: antocianinas. *Temas Selectos de Ingeniería de los alimentos*. 9:25-33.
- Ccaccya, A. M.; Soberón, M. y Arnao, I. 2019. Estudio comparativo del contenido de compuestos bioactivos y cianidina-3-glucósido del maíz morado (*Zea mays* L.) de tres regiones del Perú. *Rev. de la Sociedad Química de Perú*. 85(2):206-215.
- Cristianini, M. and Guillen, J. S. 2020. Extraction of bioactive compounds from purple corn using emerging technologies: A review. *Journal of Food Science*. 85(4):862-869.
- Doroteo, V. H.; Diaz, C.; Terry, C. y Rojas, R. 2013. Compuestos fenólicos y actividades antioxidantes in vitro de seis plantas peruanas. *Rev. de la Sociedad Química del Perú*. 79(1):13-20.
- Fernández-Aulis, F.; Hernández-Vásquez, L.; Aguilar-Osorio, G; Arrieta-Báez, D and Navarro-Ocaña, A. 2019. Extraction and identification of anthocyanins in corn cob and corn husk from Cacahuacintle Maize. *Journal of Food Science*. 84(5):954-962.
- Forester, S. C.; Waterhouse, Y. Y. and Oteiza, P. I. 2014. The anthocyanin metabolites gallic acid, 3-O-methylgallic acid, and 2, 4, 6-trihydroxybenzaldehyde decrease human colon cancer cell viability by regulatin pro-oncogenic signals. *Molecular Carcinogenesis*. 53(6):432-439.
- Giusti, M. M. and Wrolstad, R. E. 2001. Characterization and measurements of anthocyanins by UV-Visible spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. F1.2.1-F1.2.13:1-13. Doi: <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>.
- Itthisoponkul, T.; Naknan, P.; Prompun, S. and Kasemwong, K. 2018. Evaluation of high-pressure treatment for improvement of physicochemical and functional qualities in purple corn cobs. *International Food Research Journal*. 25(1):246-253.
- Khoo, H. E.; Azlan, A. X.; Tang, S. T. and Lim, S. M. 2017. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and potential health benefits. Review. *Food and Nutrition Research*. 61(1):1361779. Doi: <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>.
- Lao, F.; Sigurdson, G. T. and Giusti, M. M. 2017. Health benefits of purple corn (*Zea mays* L.) phenolic compounds. *Comprehensive Review in Food Science and Food Safety*. 14(1):20-40.

- Li, C. Y.; Kim, H. W. and Won, S. R. 2008. Corn husk as a potential source of anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56(23):11413-11416.
- Lim, S.; Xu, J.; Kim, J.; Chen, T. Y.; Su, X.; Standard, J.; Carey, E.; Griffin, J.; Herndon, B.; Katz, B. Tomich, J. and Wang, W. 2013. Role of anthocyanin-enriched purple-fleshed sweet potato P40 in colorectal cancer prevention. *Molecular Nutrition of food and Research*. 57(11):1908-1917.
- Medina, H. A.; Narro, L. L. A. y Chávez, C. 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.
- MINAGRI. 2017. Oficina de Información Agraria del Ministerio de Agricultura y Riego. Estadística Agraria Mensual.
- Monroy, Y. M.; Rodríguez, R. A. F.; Sartoratto, A. and Cabral, F. A. 2016. Optimization of the extraction of phenolic compounds from purple corn cob (*Zea Mays* L.) by sequential extraction using supercritical carbon dioxide, ethanol and water as solvents. *The Journal of Supercritical Fluids*. 116:10-19. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.04.011>.
- Muangrat, R.; Pongsirikul, I. and Blanco, P. H. 2017. Ultrasound assisted extraction of anthocyanins and total phenolic compounds from dried cob of purple waxy corn using response surface methodology. *Journal of Food Processing and Preservation*. 42(e13447):1-11. Doi: <https://doi.org/10.1111/jfpp.13447>.
- Peiffer, D. S.; Zimmerman, N. P.; Wang, L. S.; Ransom, B.; Carmella, S. G.; Kuo, C. T.; Siddiqui, J.; Chen, J. H.; Oshima, K.; Huang, Y. W.; Hecht, S. S. and Stoner, G. D. 2014. Chemoprevention of esophageal cancer with black raspberries, their component anthocyanins, and a major anthocyanin metabolite, protocatechuic acid. *Cancer Prevention Research*. 7(6):574-584.
- Quevedo, W. S. 2013. Maíz blanco urubamba (Blanco gigante Cusco). Manual técnico no. 13: Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Cusco, Perú.
- Pedraza, M.; Idrogo, G. y Pedraza, S. 2017. Densidad de siembra y comportamiento agronómico de tres variedades de maíz morado (*Zea mays* L.). *Revista ECIPerú*. 14(1):20-40.
- Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, M. G.; Gonzales, L.; Tablada, M. y Robledo, C. W. 2020. "InfoStat, Versión 2020, Grupo InfoStat, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: <https://www.infostat.com.ar/>.
- Roy, S. and Jong-Whan, R. 2021. Anthocyanin food colorant and its application in pH-responsive color change indicator films. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 61(14):2297-2325.
- Somavat, P.; Qian, Li.; Gonzales de Mejía, E.; Liu, W. and Sing, V. 2016. Coproduct yield comparisons of purple, blue and yellow dent corn for various milling processes. *Industrial Crops and Products*. 87:266-272.
- Sánchez, V. V. y Méndez, S. N. 2013. Estrés oxidativo, antioxidantes y enfermedad. *Rev. de investigación Médica Sur*. 20(3):161-168.
- Tian, X.; Xin, H.; Paengkoum, P.; Paengkoum, S.; Ban, C. and Sorasak, T. 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(3):1384-1397.
- Tsai, T. C.; Huang, H. P. and Chang, Y. C. 2014. An anthocyanin-rich extract from *Hibiscus sabdariffa* Linnaeus inhibits N-nitrosomethylurea-induced leukemia in rats. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 62(7):1572-1580.

- Virgen, V. J.; Zepeda, B. R.; Ávila, P. M. A.; Espinosa, C. A.; Arellano, V. J. L. y Gámez, V. A. J. 2014. Producción de semilla de líneas progenitoras de maíz: densidad de población e interacción. *Agronomía Mesoamericana*. 25(2):323-335.
- Weather Underground. 2020. Disponible en: <https://www.wunderground.com/forecast/pe/los-ba%C3%B1os-del-inca-district/SPJR> (Consulta, enero 15, 2020)
- Yazhen, S.; Wenju, W.; Panpan, Z.; Yuanyuan, Y.; Panpan, D.; Wusen, Z. and Yanling, W. 2020. Anthocyanins: Novel Antioxidants in Diseases Prevention and Human Health. *In: Flavonoids-A Coloring Model for Cheering up Life*. (Ed). IntechOpen, China. 1-16 pp. Doi: 10.5772/intechopen.89746.
- Yoon, M. L.; Young, Y.; Haelim, Y.; Hyun, M. P.; Sooji, S. and Kyung, J. Y. 2017. Anthocyanins against Obesity and Inflammation. *Nutrients*. 9(1089):1-14. Doi: 10.3390/nu9101089.
- Zhang, Q.; Gonzales de Mejía, E.; Luna-Vital, D.; Tao, T.; Chandrasekaran, S.; Chatham, L.; Juvik, J.; Singh, V. and Kumar, D. 2019. Relationship of phenolic composition of selected purple maize (*Zea mays* L.) genotypes with their anti-inflammatory, anti-adipogenic and antidiabetic potential. *Food Chemistry*. 289(15):739-750.