

## Cultivares de maíz morado de alto rendimiento y contenido de antocianinas en la región Cajamarca, Perú

Melissa Rabanal-Atalaya<sup>1§</sup>  
Alicia Medina-Hoyos<sup>2</sup>

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

§Autora para correspondencia: [mrabanala@unmsm.edu.pe](mailto:mrabanala@unmsm.edu.pe).

### Resumen

El maíz morado contiene como principal metabolito secundario a las antocianinas, pertenecientes al grupo de los flavonoides polifenólicos, responsables de muchas actividades biológicas principalmente de la actividad antioxidante alta. Se busca identificar maíces morados con buena producción de grano y contenido de antocianinas en el olote y brácteas que generen más ingresos a los productores de la región Cajamarca en Perú, usando tres cultivares en cuatro localidades de la región Cajamarca en Perú. Los resultados muestran el mejor ambiente de producción fue Chala, donde se registró la mayor producción de grano fue en los cultivares INIA-601 (4.38 t ha<sup>-1</sup>) y MM (3.75 t ha<sup>-1</sup>). Los mismos cultivares tuvieron las más altas concentraciones de antocianinas tanto en el olote y en las brácteas, con valores de 7.9 y 4.53 mg g<sup>-1</sup> para INIA-601 y 7.2 y 2.1 mg g<sup>-1</sup> para MM respectivamente, sugiriéndolos como variedades potenciales por el alto rendimiento y contenido de antocianinas.

**Palabras clave:** andes peruanos, comportamientos agronómicos, fitoquímicos, maíz morado.

Recibido: enero de 2022

Aceptado: marzo de 2022

## Introducción

El maíz morado (*Zea mays* L.) es nativo de la región Andes en Perú. Es ampliamente cultivado y consumido a través en la región Andes en Sur América, principalmente en Perú, Ecuador, Bolivia y Argentina (Lao *et al.*, 2017). El Perú exportó 0.006755 toneladas de maíz morado por un valor Free On Board (FOB) de US\$12 550 179 en el año 2020, cifras que evidencian un incremento exponencial desde los 798 810 kilos exportados en 2019 por US\$1 249 588. Las exportaciones del maíz morado tienen como destino principal los Estados Unidos de América, donde se lograron colocaciones por US\$ 6 886 733 (55% del total de envíos), seguido de España con US\$1 693 687 (13%), Ecuador con US\$1 281 573 (10%), Bélgica con US\$637 702 (5%) y otros países con montos menores que sumaron US\$2 050 485 (Agrodataperu, 2021).

El maíz morado es reconocido por la Unión Europea (UE) y el Japón con el código E-163 y bajo el sistema numérico internacional INS-163iv (Lao *et al.*, 2017). El Perú cuenta con una gran cantidad de cultivares, algunos locales como el Canteño, Cuzco, Caraz, Arequipeño, Negro de Junín, otros procedentes del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) como los cultivares INIA-601, INIA-615 Negro Canaán, el maíz mejorado experimental denominado MM y otros cultivares que provienen de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) como el PM-581 y el PM-582 (Manrique, 1997; Pedraza *et al.*, 2017). El maíz morado es el único en el mundo por presentar granos, olote y brácteas de color morado a negro debido a la cantidad y tipo de antocianinas que poseen.

Las antocianinas, que son los pigmentos más importantes del maíz morado, son compuestos hidrosolubles que, desde el punto de vista químico, es una molécula polihidroxilada glicosilada o polimetoxi derivada de 2-fenilbenzopirilio, perteneciente al grande grupo de flavonoides y éste dentro del grupo de los compuestos fitoquímicos polifenólicos (Martin *et al.*, 2012). De otro punto de vista, las antocianinas tienen una forma glicosilada de antocianidinas y la más abundante es la cianidina-3-O-glucido (C3G) con un 45.8% de abundancia relativa, seguido de la cianidina-3-O-(6-malonilglucosido) con 40.1% y en menores proporciones de abundancia relativa se han identificado compuestos de la familia de la pelargonidina y peonidina (Chen *et al.*, 2016).

Las funciones de las antocianinas en las plantas son múltiples, desde la protección contra la radiación UV, la atracción de insectos polinizadores hasta impedir la congelación de frutos (Gorriti *et al.*, 2009 y Guillen-Sánchez *et al.*, 2014). Este fitoquímico es ampliamente usado en la industria alimentaria como un elemento base para producir alimentos funcionales (Mansilla y Nazar, 2020), en la cosmética, farmacéutica y medicinal. Además, se ha comprobado la amplia actividad biológica principalmente en la actividad antioxidante (Tian *et al.*, 2018; Tian *et al.*, 2019) inhibiendo a las moléculas reactivas de oxígeno (EROS), las cuales son producto del metabolismo celular y de fuentes exógenas como rayos X, humo del tabaco y contaminación ambiental (Sánchez-Valle *et al.*, 2013).

Las antocianinas tienen amplios beneficios en la salud humana, por ejemplo, disminuyen la obesidad e inflamación (Lee *et al.*, 2017), previenen problemas de la aterosclerosis, cardiovasculares y de envejecimiento celular (Zhang *et al.*, 2019), además, son antimicrobianas (Ccaccya *et al.*, 2019) y es recomendado por su efecto antiinflamatorio, ayudan en la formación del colágeno y elastina, mantienen los niveles de colesterol en la sangre, ayudan en la síntesis de

ácidos grasos favoreciendo a las personas con diabetes (Zhang *et al.*, 2019; Ferron *et al.*, 2020; Cristianini y Guillen, 2020), previenen el cáncer contra el esófago, colón, pulmón, próstata, piel (Khoo *et al.*, 2017; Lao *et al.*, 2017; Sheng *et al.*, 2018) y son un antimutágeno (Lao *et al.*, 2017). El objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar la producción del grano y el contenido de antocianinas presente en olote y brácteas usando los cultivares INIA-601, MM y el Canteño en cuatro localidades pertenecientes al Departamento de Cajamarca.

## Materiales y métodos

### Material vegetal

Se evaluaron tres cultivares del maíz morado de polinización libre, los cuales fueron INIA-601, Morado mejorado (MM) y Canteño, cuyas características se explican en el Cuadro 1.

**Cuadro 1. Características de las variedades INIA-601, MM y Canteño evaluado en el ciclo del 2018 a 2019.**

Cultivar	Raza/variedad mejorada	Color de grano	Zona de adaptación	Fuente
INIA-601	Variedad mejorada	Morado intenso	Adaptado en la sierra norte del Perú, en los Departamentos de Cajamarca, La Libertad y Piura, cuyas altitudes oscilan entre 2 490 a 3 175 m	Pedraza <i>et al.</i> (2017)
MM	Variedad mejorada	Morado oscuro	Es una variedad sintética derivada del INIA-601, este cultivar se viene seleccionando por la EEA Baños del Inca del INIA, el cual utiliza una selección de progenies S <sub>1</sub>	Medina-Hoyos (2020)
Canteño	Raza	Morado a negro	Se cultiva en las partes altas del valle del río Chillón en el Departamento de Lima entre los 1 800 a 2 500 m	Manrique (1997)

### Lugar del ensayo

El ensayo fue llevado a cabo en el departamento de Cajamarca en cuatro localidades, las cuales son Tartar Chico, Shaullo Chico, Iglesiapampa y Chala, cuya ubicación geográfica se muestra en el Cuadro 2 (Weather Underground, 2020). Las campañas agrícolas en las cuatro localidades se llevaron a cabo desde octubre de 2018 hasta abril de 2019.

**Cuadro 2. Muestra los datos geográficos en las cuatro localidades evaluadas en el Departamento de Cajamarca en Perú.**

Provincia	Distrito	Localidad	Ubicación geográfica	Altitud	Temperatura promedio	Precipitación promedio	Tipo de clima
Cajamarca	Baños del Inca	Tartar chico	7°8'40.8''S, 78°27'50.9''O	2 690 m	10.4 °C de temperatura mínima y 31.4 °C de temperatura	2 963 mm	De cálido a templado. Hay más lluvias en verano que en invierno.
		Shaullo chico	7°10'24''S, 78°26'33.1''W	2 789 m			
San Pablo	San Pablo	Iglesiapampa	7°7'6.7''S, 78°47'43.6''W	2 575 m	14 hasta 30 °C	2 701 mm	De cálido a templado. Hay precipitaciones todo el año.
Hualgayoc	Bambamarca	Chala	6°40'44''S, 78°31'2''W	2 580 m	12 hasta 32 °C	930 mm	En verano es caluroso y árido, mayormente nublado y en invierno seco y despejado.

### Manejo de campo y diseño experimental

El diseño de bloques fue completamente al azar, con una densidad de siembra de 50 000 plantas ha<sup>-1</sup>. La unidad experimental estuvo compuesta por cinco surcos establecidos a 80 cm entre surcos, 50 cm entre golpes, colocando dos semillas por golpe. Siendo cada uno de los surcos de 5.5 m de largo y el número de unidades experimentales 4. La fertilización en las cuatro localidades se usó en forma de N-P-K, cuya composición química es N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, respectivamente fueron en Tartar chico (165, 45, 65), Shaullo chico (120, 60, 50), Iglesiaspampa (120, 60, 50) y en Chala (145, 65, 45) kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. El abonamiento se realizó con guano de isla dos veces, siendo la primera aplicación en la siembra y la segunda, al aporque.

En todas las unidades experimentales se hizo un control de plagas como cogollero (*Spodoptera frugiperda* Smith) y mazorquero (*Helicoverpa zea* Boddie). Las evaluaciones se realizaron en los tres surcos centrales y se seleccionaron aleatoriamente diez plantas por tratamiento. Las variables biométricas analizadas fueron: días de floración femenina y masculina, tomados al 50% de plantas liberando polen y mostrando pistilos, altura de la planta y mazorca en metros, prolificidad, definido como el número de mazorcas/plantas, pudrición de mazorcas en (%), usando una escala del 1 al 6 establecida por el Programa de Maíz del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 2004) y acame de raíz y tallo, ambos expresados en (%).

Las variables agronómicas fueron: peso de campo (%) de desgrane y factor de área. El rendimiento (t ha<sup>-1</sup>) se calculó usando la siguiente fórmula:  $RGN = PC * \left( \frac{10}{AEP} * \frac{(100 - \%H)}{86} \right) * D$ . Donde: RGN= es el rendimiento de granos corregido al 14% de humedad en t ha<sup>-1</sup>; 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  $\text{kg parcela}^{-1}$  en  $\text{t ha}^{-1}$ ;  $AEP$  es el área efectiva de la parcela, igual a  $4.4 \text{ m}^2$  y  $D$  es el porcentaje de desgrane equivalente a 0.8.

### Determinación de antocianinas

Se midió el contenido de antocianinas en las brácteas y olote de las variedades INIA-601, MM y el Canteño en cuatro localidades, seleccionándose aleatoriamente diez plantas por unidad experimental siguiendo la metodología descrita por Jing y Giusti (2007); Gorriti *et al.* (2009) y se caracterizó mediante el método cromatográfico high performance liquid chromatography (HPLC). Se utilizaron muestras de 0.3 g olotes o 0.4 g brácteas, previamente secas y molidas, fueran colocadas en un vaso de precipitación con 100 ml del hidroácido compuesto de 850 ml de alcohol y 150 ml de HCl al 2%, registrando el peso total, se colocó en un agitador magnético a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  durante dos horas a 300 rpm, cubriendo el recipiente con papel de aluminio con la finalidad de evitar la evaporación del alcohol.

Luego de pesar, se agregó el hidroácido hasta completar el peso inicial, dejándose reposar durante 30 min. Se extrajeron 5 ml de muestra y se colocaron en un matraz de 100 ml, aforándose también con hidroácido y homogenizándose, para luego medir en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 535 nm. Con la finalidad de obtener la concentración de antocianinas equivalentes a mg de cianidina-3-glucosido/g de peso seco, se utilizó la siguiente fórmula: antocianinas totales  $\left(\frac{\text{mg}}{\text{g}}\right) = \frac{A \times MW \times FD \times V}{\epsilon \times l \times W}$ . Donde:  $A$  es la absorbancia leída a una longitud de onda de 535 nm;  $MW$  es el peso molecular de la cianidina-3-glucósido de  $449.2 \text{ g mol}^{-1}$ ;  $FD$  factor de dilución;  $V$  volumen del solvente de extracción en ml;  $\epsilon$  coeficiente de extinción molar de 26 900;  $l$  longitud de paso de celda en cm y  $W$  peso de la muestra en g.

### Análisis de los datos

Se analizaron los datos de rendimiento, variables morfológicas y biométricas y de antocianinas tanto en olote como en brácteas por localidad, calculando las medias entre los diferentes experimentos. La comparación de medias se realizó mediante las diferencias mínimas significativas (DMS al 0.05) utilizando el estadístico InfoStat, versión 2020 (Rienzo *et al.*, 2013).

## Resultados y discusión

### Rendimiento

Los análisis del rendimiento de grano, altura de la planta y mazorca se presentan en el Cuadro 3 en los cuatro lugares evaluados, observándose diferencias altamente significativas con  $p \leq 0.001$  por genotipos por ambiente. El Cuadro 4 muestra los resultados del rendimiento de grano, observándose que el mejor rendimiento lo obtuvo el cultivar INIA-601, en Chala con  $4.38 \text{ t ha}^{-1}$ , en Tartar con  $3.35 \text{ t ha}^{-1}$ ; sin embargo, en Shaullo, el cultivar MM, logró  $2.2 \text{ t ha}^{-1}$  valor parecido al obtenido por el INIA-601 con  $2.1 \text{ t ha}^{-1}$ . En Iglesiapampa, sobresalió el cultivar MM con  $1.6 \text{ t ha}^{-1}$ , también seguida del cultivar INIA-601, con  $1 \text{ t ha}^{-1}$ .

**Cuadro 3. Cuadrado medio (CM), de la interacción genotipo por ambiente valor *p* y el coeficiente de variación (CV) del rendimiento, altura de la planta y mazorca en tres cultivares del maíz morado en Cajamarca en el ciclo de 2018-2019.**

	Rendimiento de grano			Altura de planta			Altura de la mazorca		
	INIA-601	MM	Canteño	INIA-601	MM	Canteño	INIA-601	MM	Canteño
CM	8.52	3.4	2.17	152.2	0.58	0.19	0.41	0.44	0.17
<i>p</i> -valor	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
CV	5.66	3.91	5.18	3.56	2.91	4.98	2.81	3.5	12.74

**Cuadro 4. Valores promedio de rendimiento del grano, altura de la planta y de mazorca de tres cultivares del maíz morado cultivados en cuatro localidades en Cajamarca, Perú, ciclo agrícola 2018-2019.**

Localidad	Rendimiento de grano (t ha <sup>-1</sup> )			Altura de planta (m)			Altura de la mazorca (m)		
	INIA-601	MM	Canteño	INIA-601	MM	Canteño	INIA-601	MM	Canteño
Iglesiapampa	1 a	1.6 a	0.9 a	1.71 a	1.87 a	1.67 a	0.95 a	0.93 a	0.88 a
Tartar	3.4 c	2.2 b	2.6 d	2.77 d	2.7 c	2.12 c	1.6 c	1.58 d	1.3 b
Shaullo	2.1 b	2.2 b	1.6 b	1.87 b	1.95 a	1.86 b	0.92 a	0.85 a	0.89 a
Chala	4.4 d	3.8 c	1.9 c	2.14 c	2.32 b	2.12 c	1.03 b	1.25 c	1.13 b
DMS 0.05	0.32	0.2	0.2	0.16	0.14	0.2	0.07	0.08	0.28

Valores seguidos por la misma letra en una columna no son significativamente diferentes a un nivel de significancia de 0.005.

Cabe señalar, que el cultivar INIA-601 procede de una población grande compuesta de 256 medios hermanos, 108 de los cuales procede de la variedad Morado de Caraz y 148, Negro de Parubamba. Esta gran variabilidad genética hace que este cultivar sea muy estable en las zonas altoandinas cuyas altitudes van de los 2 490 a 3 175 m (Pedraza *et al.*, 2017). También se sabe que el cultivar experimental denominado MM, le sigue en el rendimiento, ya que este cultivar es un cultivar mejorado sintético que procede del INIA-601, mientras que el cultivar Canteño, obtuvo los valores de rendimientos más bajos en los cuatro lugares de experimentación, probablemente debido a que este cultivar tiene un área de adaptación en la región de Lima en altitudes entre 1 800 a 2 500 m (Medina-Hoyos *et al.*, 2020).

En un estudio realizado en 28 ambientes y usando seis cultivares en San Marcos ubicado en el Departamento de Cajamarca, encontraron rendimientos en los cultivares INIA-601 de 2.77 t ha<sup>-1</sup>, MM de 2.5 t ha<sup>-1</sup> y Canteño de 1.9 t ha<sup>-1</sup>. En el caso de las variedades INIA-601 y MM en algunos lugares se registraron valores de rendimientos más bajos de los encontrados en el presente trabajo de investigación; mientras que el cultivar Canteño registró un valor muy parecido al obtenido en algunos lugares probados (Medina-Hoyos *et al.*, 2020).

Los resultados de la altura de la planta indican que el cultivar MM fue superior en todos los casos excepto en Tartar. Se observa que en Iglesiaspampa y en Shaullo, los valores variaron desde 1.7 m hasta 1.95 m, es decir valores inferiores a 2 m, mientras que en Tartar y en Chala, se observó que las alturas de la planta fueron superiores a 2 m, destacando el INIA-601 en Tartar con 2.77 m y en Chala, el cultivar MM con 2.32 m, además en todos los casos el cultivar Canteño mostró las alturas

de la planta más bajas desde 1.67 hasta con un máximo de 2.12 m. Cabe señalar, que la altura de la planta es importante para estimar o conocer esta característica de cada variedad y tienen la desventaja que si crecen más del promedio se escaman.

Se observa una correlación de los valores de la altura de mazorca con la altura de la planta en las diferentes variedades, cuyos valores obtenidos en la localidad de Tartar fueron para el INIA-601 (2.77 y 1.6 m), MM (2.7 y 1.58 m) y Canteño (2.12 y 1.3 m), seguido de una menor altura de planta y mazorca en la localidad de Chala, cuyas variedades INIA-601 (2.14 y 1.03 m), MM (2.32 y 1.25 m) y Canteño (2.12 y 1.13 m), respectivamente. Por otro lado, también se aprecian que en las localidades de Iglesiapampa y Shaullo los valores de altura de la planta oscilaron entre 1.6 a 2 m y los valores de la altura de mazorca oscilaron entre 0.8 a 1 m.

Los resultados evaluados de la floración masculina y femenina y acame de raíz y tallo usando los cultivares INIA-601, MM y Canteño muestran diferencias altamente significativas con  $p \leq 0.001$  por genotipos por ambiente (Cuadro 5). En Iglesiapampa, la variedad MM fue la más precoz, alcanzó la floración (masculina y femenina) en menor tiempo (Cuadro 6) con 94.8 y 96.75 días, seguido del cultivar INIA-601 en Shaullo con 92.5 y 104 días, respectivamente. Cabe señalar, que los tres cultivares tanto en Iglesiapampa, Tartar y Shaullo obtuvieron variaciones pequeñas tanto en floración femenina como masculina entre los 92.5 hasta 111.8 días; sin embargo, en Chala, los tres cultivares tuvieron períodos de floración tardíos, variando sus valores entre 143 hasta 155 días, pero con un mayor rendimiento.

**Cuadro 5. Cuadrado medio (CM), de la interacción genotipo por ambiente valor  $p$  y el coeficiente de variación (CV) del florecimiento femenino y masculino y acame de raíz y tallo en los tres cultivares del maíz morado.**

	Floración femenina			Floración masculina			Acame de raíz			Acame de tallo		
	INIA-601	MM	Canteño	INIA-601	MM	Canteño	INIA-601	MM	Canteño	INIA-601	MM	Canteño
CM	2458.6	2256.3	2000.4	2540.2	1852.4	1929.6	6.94	4.81	8.84	14.52	5.51	23.14
$p$ -valor	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
CV	1.69	1.46	1.29	1.51	0.66	2.36	6.02	6.14	10.62	9.05	3.29	13.66

**Cuadro 6. Valores promedio de la floración femenina y masculina, acame de raíz y tallo de los tres cultivares del maíz morado cultivados en cuatro localidades en Cajamarca, Perú, ciclo 2018-2019.**

	Floración femenina (días)			Floración masculina (días)			Acame de raíz (%)			Acame de tallo (%)		
	INIA-601	MM	Canteño	INIA-601	MM	Canteño	INIA-601	MM	Canteño	INIA-601	MM	Canteño
Iglesiapampa	102.5a	96.75a	103.3a	102b	94.8a	101.8a	0.71a	0.71a	0.71a	0.71a	1.84b	1.56b
Tartar	111.8b	113.3c	116.3c	112.3c	104.3b	105.5ab	3.73d	3.28d	4.08c	4b	3.26c	4.83c
Shaullo	104a	107.3b	111.5b	92.5a	103.5b	106.3b	1.28b	1.69c	1.31b	4.06b	3.99d	5.64d
Chala	155c	151.3d	153.8d	150d	143c	148.3c	1.61c	1.31b	1.54b	0.75a	1.52a	0.74a
DMS 0.05	3.28	3.59	3.28	3.62	1.55	5.73	0.23	0.22	0.43	0.45	0.18	0.91

Los valores de días de floración para saber que mientras más precoces es el floreamiento, su rendimiento es menor comparado a aquella variedad cuya floración es tardía, tal como lo muestra el presente trabajo quien presenta una floración tardía en Chala en las tres variedades y el más alto rendimiento comparado a las otras, destacando la variedad INIA-601 con un florecimiento femenino de 155 días, florecimiento masculino de 150 días y con el más alto rendimiento de 4.4 t ha<sup>-1</sup>. Los valores del acame de raíz más bajos fueron en Iglesiapampa con los tres cultivares de valor estadístico de 0.71%, luego los obtenidos en Shaullo y en Chala con valores en un rango de 1.28 hasta 1.61%, mientras que en Tartar, se obtuvieron los valores más alto de 3.28 a 4.08%.

Los valores de acame de tallo tuvieron un patrón parecido, los más bajos para los tres cultivares estuvieron en Iglesiapampa, valores parecidos a los obtenidos en Chala con un rango de 0.71 a 1.52%, mientras que en Tartar y Shaullo se obtuvieron valores más altos desde 3.26 a 5.64%. Como se puede apreciar en la localidad de Tartar presentó los valores más altos tanto de acame de raíz como de tallo, ya que probablemente el terreno tuvo muchos nutrientes y por ello la planta creció muy por encima del promedio comparado a los otros tres lugares y esto hizo que haya se caiga.

Cabe señalar, que en el maíz morado hay dos tipos de acames, el acame de raíces y de tallo. El acame de raíces ocurre cuando el tallo cae más de los 30 grados desde la vertical y el acame de tallo se da cuando el tallo es quebrado debajo de la mazorca. Cualquier tipo de acame, dificulta la cosecha mecánica y propicia pérdidas desde 5 hasta 25% (García y Watson, 2003).

Los resultados evaluados de la proliferación y pudrición de mazorca usando los cultivares INIA-601, MM y Canteño muestran diferencias altamente significativas con  $p \leq 0.001$  por genotipos por ambiente (Cuadro 7). La prolificidad, que es el número de mazorcas plantas<sup>-1</sup> (Cuadro 8) muestra que si el valor supera a 1 significa que cada planta tiene una o más mazorcas, como es el caso de INIA-601 en Shaullo cuyo valor es 1.3 lo que indica que algunas plantas tienen más de una mazorca, para el caso de MM en la localidad de Chala es de 1.13 y para el Canteño en Shaullo es de 1.54 significa que de cada tres plantas, dos de ellas tiene dos mazorcas.

**Cuadro 7. Cuadrado medio, de la interacción genotipo por ambiente valor  $p$  y coeficiente de variación de prolificidad y pudrición de mazorcas de tres cultivares del maíz morado.**

	Prolificidad			Pudrición de mazorcas		
	INIA-601	MM	Canteño	INIA-601	MM	Canteño
CM	0.08	0.09	0.6	23.26	1.18	105.2
$p$ -valor	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
CV	7.11	3.58	7.71	4.93	0.74	1.28

**Cuadro 8. Valores promedio de prolificidad y pudrición de mazorcas realizados en tres cultivares de maíz morado en cuatro localidades en Cajamarca, Perú, ciclo agrícola 2018-2019.**

Localidad	Prolificidad			Pudrición de mazorcas (%)		
	INIA-601	MM	Canteño	INIA-601	MM	Canteño
Iglesiapampa	1 a	0.77 a	0.72 a	11 c	10.2 c	16.6 c
Tartar	1.05 a	0.88 b	0.78 a	10.4 c	9.1 a	7.3 a
Shaullo	1.3 b	0.99 c	1.54 b	7.5 b	9.4 b	18.8 d
Chala	1.04 b	1.13 d	0.8 a	5.9 a	10.1 c	11.6 b
DMS 0.05	0.16	0.07	0.16	0.9	0.15	0.37

Para la variedad INIA-601 en todas las localidades todas las plantas tenían por lo menos una mazorca; sin embargo, la variedad MM en las localidades de Iglesiapampa, Tartar y Shaullo, había plantas que no tenían mazorcas y por ello los valores son de 0.77, 0.88 y 0.99 respectivamente; es decir, valores menores a 1. La evaluación de la pudrición de mazorcas muestra que el cultivar INIA-601 obtuvo el menor valor con 5.9% en Chala, llegando hasta 11% en Iglesiapampa. El cultivar MM en los cuatro lugares obtuvo valores estadísticamente parecidos entre 9.1 hasta 10.2%, mientras que el cultivar Canteño obtuvo valores más altos de pudrición hasta un 18.8% en Shaullo.

Este parámetro es importante en el estudio agronómico, ya que la pudrición de mazorca es generada por los hongos, lo cual reduce la calidad del producto y trae como consecuencias a la salud humana y animal, debido principalmente a la producción de micotoxinas. Este daño depende del genotipo, de los factores medioambientales como la temperatura variada en el ciclo del cultivo, la humedad del suelo y la humedad relativa donde se desarrolla el ensayo, además el daño causado por los pájaros es mayor porque propicia la presencia de hongos. Otro aspecto es el daño producido por el insecto *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 un ambiente húmedo que facilita la proliferación de los hongos y por ende, la pudrición de mazorcas (Medina-Hoyos *et al.*, 2020).

Los resultados muestran que el contenido de antocianinas evaluados en el olote y en las brácteas usando los tres cultivares INIA-601, MM y Canteño en cuatro lugares muestran diferencias altamente significativas con  $p \leq 0.001$  por genotipos por ambiente (Cuadro 9). Los análisis del contenido de antocianinas en el olote fueron superiores al contenido de antocianinas en las brácteas, tal como se puede apreciar en el Cuadro 10. El contenido de antocianina en olote varió de 4.6 hasta 7.9 mg g<sup>-1</sup> de materia seca en los tres cultivares y cuatro lugares, resaltando en Chala, el INIA-601 (7.9 mg g<sup>-1</sup>), MM (7.2 mg g<sup>-1</sup>) y el Canteño (5.5 mg g<sup>-1</sup>), seguido de Shaullo, cuyo valor del INIA-601 también fue de 7.9 mg g<sup>-1</sup>, seguido de MM, con 6.9 mg g<sup>-1</sup> y el Canteño con 5.4 mg g<sup>-1</sup>.

**Cuadro 9. Cuadrado medio (CM), de la interacción genotipo por ambiente valor  $p$  y coeficiente de variación (CV) de la cantidad de antocianinas en olote y en brácteas de los tres cultivares del maíz morado.**

	Cantidad de antocianinas en el olote			Cantidad de antocianinas en las brácteas		
	INIA-601	MMM	Canteño	INIA-601	MMM	Canteño
CM	5.7	5.59	2.77	1.27	0.45	0.04
$p$ -valor	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
CV	2.37	3.47	2.61	2.88	4.02	28.03

**Cuadro 10. Valores promedio de cantidad de antocianinas en olote y brácteas de tres cultivares del maíz morado en cuatro localidades en Cajamarca, Perú, Ciclo agrícola 2018-2019.**

Localidad	Cantidad de antocianinas en olote (mg g <sup>-1</sup> )			Cantidad de antocianinas en brácteas (mg g <sup>-1</sup> )		
	INIA-601	MM	Canteño	INIA-601	MM	Canteño
Iglesiapampa	6.5 b	5.7 b	4.9 b	3.7 a	2.3 c	0.15 b
Tartar	5.5 a	4.6 a	3.7 a	3.9 b	1.7 a	0.06 a
Shaullo	7.9 c	6.9 c	5.4 c	4.9 d	1.6 a	0.24 c
Chala	7.9 c	7.2 c	5.53 c	4.5 c	2.1 b	0.03 a
DMS 0.05	0.35	0.44	0.27	0.26	0.16	0.07

En el contenido de antocianinas en las brácteas por genotipo en los cuatro lugares tuvieron poca variación con diferencias significativas entre genotipos por ambiente, destacando el cultivar INIA-601 con un rango de 3.7 hasta 4.9 mg g<sup>-1</sup>, el MM, vario desde 1.6 hasta 2.3 mg g<sup>-1</sup>, mientras que la variedad Canteño mostró valores muy chicos de ≤ 0.2 mg g<sup>-1</sup>. Como se muestra, los valores más altos de la cantidad de antocianinas en el olote y en las brácteas se obtuvieron en Chala en las tres variedades, así mismos sus rendimientos grano también fueron los más altos, destacando la variedad INIA-601 con un rendimiento de 4.4 t ha<sup>-1</sup>, cantidad de antocianinas en el olote de 7.9 mg/g y en las brácteas de 4.5 mg g<sup>-1</sup>, con buena altura de la planta de 2.14 m y de mazorca de 1.03 m, sugiriendo ser una variedad potencial para la importación e exportación del maíz morado.

El maíz morado produce antocianinas en toda la planta, especialmente en el olote y en las brácteas, variando sus valores significativamente (Fernandez-Aulis *et al.*, 2019). La cantidad de antocianinas depende del método de extracción, el cual debe estar validado y de los factores que involucran, como el solvente, temperatura, pH, tiempo de agitación, concentración del solvente y la relación masa-solvente usadas tanto en tecnologías clásicas como en emergentes que hasta ahora no existe una uniformidad para obtener las antocianinas. Si un cultivar tiene buen rendimiento de grano y una buena cantidad y concentración de antocianinas generara ganancias rentables para el agricultor.

Se sabe, que para el cultivar INIA-601, se calcula que por cada 5 000 kg ha<sup>-1</sup> de mazorca, se pueden producir 500 kg de olote y 200 kg de brácteas secas y picadas con contenido de antocianinas de 6.12 y 3.18%, respectivamente que es la forma como se comercializan estos productos (Medina-Hoyos, 2020). El precio del grano morado seco es de \$2.00 kg<sup>-1</sup> y el kg de olote o brácteas secas es de \$20.00 y por ende, en 700 kg de olote 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 olote 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 \$8 000.00 ha<sup>-1</sup> la utilidad neta llegaría a \$11 000.00 ha<sup>-1</sup> (MINAGRI, 2017).

Como se puede ver, manteniendo costos fijos y vendiendo en el olote y brácteas con una alta concentración de antocianinas y productividad, se obtendría mayor rentabilidad en los cultivares del maíz morado. En un estudio publicado por Medina-Hoyos *et al.*, 2020 usando seis cultivares en 28 lugares en el Departamento de Cajamarca, provincia de San Marcos, el contenido de antocianinas en el olote varió entre 4.66 a 6.12 mg g<sup>-1</sup> y el contenido de antocianinas en las brácteas entre 0.63 a 3.18 mg g<sup>-1</sup>, valores inferiores a los reportados en el presente trabajo de investigación. Cabe señalar que la cantidad de antocianinas en la etapa post cosecha disminuye la incrementar el tiempo de permanencia del maíz morado en el campo tal como lo reporta Medina-Hoyos *et al.*, 2020, factor que debe ser incorporado dentro de los protocolos de post cosecha con la finalidad de obtener resultados económicos elevados en la siembra del maíz morado y su contenido de antocianinas tanto en olote como en brácteas.

## Conclusiones

El más alto rendimiento de grano se obtuvo en Chala para los cultivares INIA-601 (4.38 t ha<sup>-1</sup>) y para el cultivar morado mejorado sintético MM (3.75 t ha<sup>-1</sup>), además ambos cuentan con altas concentraciones de antocianinas expresado como cianidina-3-glucosido tanto en el olote como en las brácteas, siendo para el cultivar INIA-601 (7.9 y 4.53 mg g<sup>-1</sup>) y para el MM (7.2 y 2.1 mg g<sup>-1</sup>), respectivamente, considerándose a ambos potenciales para incrementar la exportación e importación del maíz morado.

## Literatura citada

- Agrodataperu. 2021. Exportación del maíz morado. <https://www.agrodataperu.com/2021/01/maiz-morado-peru-exportacion-2020-diciembre.html>.
- 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. Sociedad Química del Perú*. 85(2):206-215.
- Chen, L. M.; Yang, M.; Mou, H. and Kong, Q. 2016. Ultrasoundassisted extraction and characterization of anthocyanins from purple corn bran. *J. Food Process. Preserv.* 42(13377):1-7. Doi: <https://doi.org/10.1111/jfpp.13377>.
- CIMMYT. 2004. Programa de maíz- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Enfermedades del maíz: una guía para una identificación en el campo. 4<sup>a</sup> (Ed.). México. 7-118 pp. <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/715/25905.pdf>.
- Cristianini, M. and Guillen, J. 2020. Extraction of bioactive compounds from purple corn using emerging technologies: a review. *J. Food Sci.* 85(4):862-869.
- Fernandez-Aulis, F.; Hernandez-Vazquez, L.; Aguilar-Osorio, G.; Arrieta-Baez, D. and Navarro-Ocaña, A. 2019. Extraction and identification of anthocyanins in corn cob and corn husk from Cacahuacintle Maize *J. Food Sci.* 84(5):954-962.
- Ferron, L.; Colombo, R.; Mannucci, B. and Papetti, A. 2020. A new Italian purple corn variety (Moradyn) byproduct extract: antiglycative and hypoglycemic *in vitro* activities and preliminary bioaccessibility studies. *Molecules*. 25(8):1958-1979.
- García, M. y Watson, C. E. 2003. Herencia de la resistencia al acame de raíces en maíz dulce (*Zea mays* L.). *Rev. UDO Agrícola*. 3(1):24-33.
- Gorriti, A.; Quispe, F.; Arroyo, J.; Córdova, A.; Jurado, B.; Santiago, I. y Taype, E. 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. y Paucar-Menacho, L. 2014. Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea mays* L.) var. Subnigroviolaceo. *Scientia Agropecuaria*. 5:211-217.
- Jing, P. and 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. *J. Food Sci.* 72(7):363-368.
- Khoo, H. E.; Azlan, A.; Tang, S. T. and Lim, S. M. 2017. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and potential health benefits. *Review. Food Nutr. Res.* 61:1-21. Doi: 10.1080/16546628.2017.1361779.
- Lao, F.; Sigurdson, T. and Giusti, M. 2017. Health benefits of purple corn (*Zea mays* L.) phenolic compounds. *Comprehensive review in Food Science and Food Safety*. 14(1):20-40.
- Lee, Y.; Yoon, Y.; Yoon, H.; Park, H.; Song, S. and Yeum, K. 2017. Dietary anthocyanins against obesity and inflammation. *Nutrients*. 9(1089):1-14.
- Manrique-Chávez, A. 1997. El maíz en el Perú. 2<sup>a</sup> (Ed.). CONCYTEC. Lima, Perú. 362 p.
- Mansilla, P. S. and Nazar, M. C. 2020. Flour functional properties of purple maize (*Zea mays* L.) from Argentina. Influence of environmental growing conditions. *Inter. J. Biol. Macromol.* 146(1):311-319.
- Martin-Bueno, J.; Sáez-Plaza, P.; Ramos-Escudero F.; Jiménez, A. M.; Fett, R. and García, A. 2012. Analysis and antioxidant capacity of anthocyanins pigments. Part II: chemical structure, color and intake of anthocyanins. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 42(2):126-151. Doi:10.1080/10408347.2011.632314.

- Medina-Hoyos, A.; Narro-León, L. A. y 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.
- MINAGRI. 2017. Oficina de Información Agraria del Ministerio de Agricultura y Riego. Estadística agraria Mensual. <https://www.minagri.gob.pe/portal/boletin-estadistico-mensual-el-agro-en-cifras>.
- Pedraza, M.; Idrogo, G. y Pedraza, S. 2017. Densidad de siembra y comportamiento agronómico de tres variedades de maíz morado (*Zea mays* L.). *Rev. ECIPerú*. 14 (1):20-40.
- Rienzo, J.; Casanoves, F.; Balzarini, M.; Gonzales, L.; Tablada, M. y Robledo, C. InfoStat, versión 2013, Grupo InfoStat. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <https://www.infostat.com.ar/>.
- Sánchez-Valle, V. y Méndez-Sánchez, N. 2013. Estrés oxidativo, antioxidants y enfermedad. *Rev. Investig. Médica Sur*. 20(3):161-168.
- Sheng, S.; Li, T. and Liu, R. H. 2018. Corn phytochemicals and their health benefits. *Food Science and Human Wellness*. 7:185-195.
- Tian, X. Z.; Paengkoum, P.; Paengkoum, S.; Chumpawadee, S.; Ban, C. and Thongpea, S. 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.; 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. *J. Animal Sci*. 97(3):1384-1397.
- Weather-Underground. 2020. <https://www.wunderground.com/forecast/pe/los-ba%C3%B1os-del-inca-district/SPJR>.
- Zhang, Q.; Gonzales-Mejía, E.; Luna-Vidal, D.; Tianyi, 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 Chem*. 289:739-750.