

Evaluación del rendimiento, características morfológicas y químicas de variedades del maíz morado (*Zea mays* L.) en la región Cajamarca-Perú

Evaluation of the yield, morphological and chemicals characteristics of varieties of purple corn (*Zea mays* L.) in the region Cajamarca-Peru

Melissa Rabanal-Atalaya^{1,2,†}  y Alicia Medina-Hoyos³ 

¹ Estación Experimental Agraria Vista Florida, Desarrollo Tecnológico Agrario, Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Carretera Chiclayo-Ferreñafe km 8. 14300 Chiclayo, Lambayeque, Perú.

² Facultad de Química e Ingeniería Química. Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). Cd. Universitaria Pabellón B, Av. Venezuela s/n. 15081 Lima, Perú.

[†] Autora para correspondencia (ct_vistaflorida@inia.gob.pe)

³ Estación Experimental Agraria Baños del Inca, Desarrollo Tecnológico Agrario, Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Jr. Wiracocha s/n, Baños del Inca. 06004 Cajamarca, Cajamarca, Perú.

RESUMEN

El Perú tiene una gran diversidad de productos agrícolas, debido a la variedad de climas y diversidad geográfica, por lo que cuenta con siete principales razas del maíz morado. Por tanto, el objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar el rendimiento, las características morfológicas y químicas de cinco variedades del maíz morado, las cuales fueron el INIA-601, maíz morado mejorado MMM (variedad experimental), UNC-47, INIA-615 y PM-581 y la raza Canteño como control en dos niveles altitudinales de 2770 m (Llollón) y a 3140 m (Llanupacha), ambos pertenecientes al Distrito de Ichocán, Provincia de San Marcos y Región Cajamarca en Perú, en las campañas agrícolas 2017/18 y 2018/19. Se evaluaron las variables agronómicas y el contenido de antocianinas. Los resultados muestran que el mejor rendimiento en promedio fue para el INIA-601 con 5.3 Mg ha⁻¹ en Llanupacha y de 4.5 Mg ha⁻¹ en Llollón. Las variedades con mayor altura de planta y mazorca fueron para el MMM (2.33 y 1.2 m) e INIA-601 (2.35 y 1.25 m) en Llollón; mientras que en Llanupacha, resaltaron el MMM (1.93 y 0.88 m) y el INIA-601 (1.9 y 0.88 m), respectivamente. La variedad INIA-615 logró ser la variedad más precoz en el florecimiento femenino y masculino en ambos niveles altitudinales, con 101.5 y 93.3 días en Llollón y con 125.6 y 118.3 días en Llanupacha, respectivamente; además, esta

variedad obtuvo el menor porcentaje de pudrición de 2.3% en Llanupacha y 5.9% en Llollón. La variedad INIA-601, se destacó por tener la mayor cantidad de antocianinas tanto en el olote como en las brácteas, presentando (6.7 y 7.5 mg g⁻¹) y (2.9 y 2.5 mg g⁻¹), en Llanupacha y Llollón, respectivamente.

Palabras clave: antioxidante, antocianinas, brácteas, comportamiento agronómico, olote.

SUMMARY

Peru has a great diversity of agricultural products due to the variety of climates and geographical diversity, hence it accounts with seven main races of purple corn. Therefore, the objective of our research was to evaluate the yield, and the morphological and chemical characteristics of five varieties of purple corn, which were the following: INIA-601, MMM improved purple corn (experimental variety), UNC-47, INIA-615, and PM-581, plus Canteño race, which was used as control. The study was conducted at two altitudinal levels, 2770 m (Llollon) and 3140 m (Llanupacha), both belonging to the District of Ichocan, Province of San Marcos and Region Cajamarca in Peru, during 2017/18 and 2018/19 agricultural campaigns. The agronomic variables and anthocyanin content were evaluated. The results show that the best yield on average was for INIA-601, with 5.3 Mg ha⁻¹ in Llanupacha and

Cita recomendada:

Rabanal-Atalaya, M. y Medina-Hoyos, A. (2021). Evaluación del rendimiento, características morfológicas y químicas de variedades del maíz morado (*Zea mays* L.) en la región Cajamarca-Perú. *Terra Latinoamericana* 39: 1-10. e829. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.829>

Recibido: 10 de julio de 2020. Aceptado: 20 de octubre de 2020.
Artículo. Volumen 39, enero de 2021.

with 4.5 Mg ha⁻¹ in Llollon. The varieties with the highest height of the plant and ear were MMM (2.33 and 1.2 m) and INIA-601 (2.35 and 1.25 m) in Llollon; whereas in Llanupacha, MMM (1.93 and 0.88 m) and INIA-601 (1.9 and 0.88 m), respectively, obtained the highest values. The INIA-615 variety showed the earliest flowering for females and males in both altitudinal levels, at days 101.5 and 93.3 in Llollon and at days 125.6 and 118.3 in Llanupacha, respectively. In addition, this variety obtained the lowest percentage of rot in Llanupacha (2.3%) and in Llollon (5.9%). In addition, the INIA-601 variety was highlighted for having the highest quantity of anthocyanins in both the ear and bracts, presenting (6.7 and 7.5 mg g⁻¹) and (2.9 and 2.5 mg g⁻¹), in Llanupacha and Llollon, respectively.

Index words: *antioxidant, anthocyanins, bracteas, agronomic behavior, cob.*

INTRODUCCIÓN

El Perú tiene una gran diversidad de productos agrícolas, provocado por una amplia variedad de climas y diversidad geográfica a lo largo del país, lo cual lleva a producir insumos para el consumo nacional y de exportación, siendo uno de ellos autóctono: el maíz morado (*Zea mays* L.) (Ccaccya *et al.*, 2019).

La demanda de productos a nivel internacional, ya sean agrícolas, medicinales, farmacéuticos y textiles se han incrementado con el tiempo, buscando no solo inocuidad, sino también reemplazar los productos sintéticos por otros de origen natural u orgánico. Las exportaciones del maíz morado tienen como principal destino a EE. UU. con un FOB USD\$120 213 (60%), seguido de España con \$37 186 (19%), Chile \$21 777 (11%), entre otros países del mundo (Agrodataperu, 2020).

En el Perú se cuenta con siete principales razas del maíz morado, los cuales son: Cuzco, Canteño, Caraz, Arequipeño, Negro de Junín, Huancavelicano y UNC-46 (Manrique, 1997; Quevedo, 2013), cinco variedades mejoradas, el INIA-615 Negro Canaán, INIA-601, PM-581, PM-582 y la UNC-47 y una variedad experimental mejorada denominada MMM (Manrique, 1997; Pedraza *et al.*, 2017; Pinedo *et al.*, 2017).

En el maíz morado se encuentra la antocianina, principal compuesto que, desde el punto de vista químico es una molécula polihidroxilada glicosilada o polimetoxi derivada de 2-fenilbenzopirilio, cuyo peso molecular se encuentra entre 400 a 1200 KDa (Bueno *et al.*, 2012). La antocianina es una molécula importante dentro de los flavonoides y este a su vez, dentro del grupo de los polifenoles (Li *et al.*, 2017). La antocianina es utilizada en la industria de los alimentos como los productos lácteos, panadería, conservas de pescado, aceites, sopas, postres como la mazamorra morada y en la industria de las bebidas se destaca la bebida típica nacional conocida como “chicha morada” (Somavat *et al.*, 2016; Pedraza *et al.*, 2017; Cristiani y Guillén, 2020). Las antocianinas son ampliamente usadas en las diferentes industrias por su alto poder antioxidante en la salud humana, es decir, pueden inhibir a los radicales libres que dañan a las biomoléculas importantes como lípidos o proteínas oxidadas (Castañeda y Guerrero, 2015). Otros beneficios a la salud son atribuidos a su poder antioxidante alto como en la regeneración del tejido conectivo, presión sanguínea y colesterol, además, es anticancerígeno, antitumoral, anti mal del Parkinson, entre otros (Chen *et al.*, 2017; Khoo *et al.*, 2017; Lao *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2017; Cristianini y Guillén, 2020; Yazhen, 2020).

Es por eso, la importancia de poder incrementar los conocimientos en los diferentes ensayos agronómicos usando cinco variedades mejoradas del maíz morado, INIA-601, MMM, UNC-47, INIA-615 y PM-581 y una raza al Canteño. El objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar las variables agronómicas de las variedades mejoradas, así como también el contenido de antocianinas en el olote y en las brácteas en los diferentes tratamientos, cuya densidad de siembra fue de 50 000 plantas ha⁻¹, en dos campañas agrícolas correspondientes al 2017/18 y 2018/19 y en con los niveles de altitud de 2770 y 3140 metros.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en Llanupacha y Llollón, ambos pertenecientes al distrito de Ichocán, Provincia de San Marcos en la Región Cajamarca, en Perú. Ubicado en 7° 21' 18.7" S, 78° 6' 7" O y a 2770 m de altitud para Llollón y 7° 22' 2.3" S, 78° 6' 10.7" O a 3140 m de altitud para Llanupacha.

Las campañas agrícolas fueron realizadas desde octubre hasta abril. La primera campaña agrícola fue en 2017/18, cuya temperatura promedio fue de 8.1 a 19.9 °C y la humedad relativa de 39.8 a 90%, y la segunda campaña agrícola, realizada en el 2018/19, presentó la temperatura promedio de 10 a 19.4 °C, y la humedad relativa de 53 a 96% (Weather Underground, 2020¹).

El Cuadro 1 muestra los análisis de caracterización fisicoquímica del suelo, los cuales se tomaron en cuenta para la fertilización. La cantidad de N, P y K aplicado en promedio para la localidad de Llollón y Llanupacha fue de (110 y 120 kg ha⁻¹), (40 y 50 kg ha⁻¹) y (40 y 40 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.

Material y Diseño Experimental

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, con densidad de siembra de 50 000 planta ha⁻¹, sembrado en cinco surcos establecidos a 80 cm, 50 cm entre golpes y se colocaron dos semillas por golpe, con cuatro repeticiones. Cada uno de los surcos fue de 5.5 m de largo y la evaluación se realizó en los tres surcos centrales. La primera campaña agrícola se llevó a cabo entre octubre del 2017 a junio del 2018 (2017/18) y la segunda, desde octubre del 2018 hasta junio del 2019 (2018/19). Se evaluaron cinco variedades mejoradas del maíz morado, INIA-601, el maíz morado mejorado denominado MMM, UNC-47, INIA-615, PM-581 y la raza Canteño como control.

Cuadro 1. Características fisicoquímicas del suelo en Llanupacha y en Llollón en el año 2017.

Table 1. Physicochemical characteristics of the soil in Llanupacha and in Llollon in the year 2017.

| Lugar | pH | M.O. | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
|------------|-----|------|---------|-------------------------------|------------------|
| | | % | - - - - | mg kg ⁻¹ | - - - - |
| Llanupacha | 7.3 | 1.9 | 0.1 | 17.7 | 340 |
| Llollón | 7.4 | 2.5 | 0.1 | 29.3 | 350 |

% M.O. = porcentaje de materia orgánica.

% M.O. = percentage of organic matter.

Variables Evaluadas

Se halló el peso de campo, por ciento 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), la altura de planta (AP), de la mazorca (AM), el número de plantas (NP), prolificidad (número de mazorcas/plantas) y el porcentaje de pudrición de mazorcas (PP). Se determinó el rendimiento de las diferentes variedades, considerando el contenido de humedad de la semilla de 14%, usando la siguiente fórmula:

$$\text{RGN (Mg ha}^{-1}\text{)} = \text{PC} \times (10/\text{AE} \times (100 - \%H) / 86) \times \text{ID}$$

donde:

RGN = rendimiento de granos en Mg ha⁻¹;

PC = peso de campo;

%H = porcentaje de humedad del grano;

(100-%H) = coeficiente de porcentaje de materia seca;

86 = coeficiente de corrección de humedad al 14%;

(10/AE) = factor de corrección para transformar kg parcela⁻¹ en Mg ha⁻¹;

AEP = área efectiva de la parcela igual a 4.4 m²;

ID = índice de desgrane equivalente a 0.8.

Método de Análisis para la Determinación de Antocianinas

Se seleccionaron aleatoriamente diez plantas por tratamiento para determinar el contenido de antocianinas tanto en el olote como en las brácteas, según el método de pH diferencial descritos por Giusti y Wrolstad (2001). Alrededor de 1 g de muestra, previamente secas y molidas, fueron extraídas con 20 mL de la solución de etanol al 20% a pH 2, durante 60 min con agitación constante a 90 °C en baño maría, luego el extracto obtenido fue filtrado usando el papel Whatman grado 1. Una alícuota del extracto se diluyó a un matraz de 25 mL con soluciones buffer de cloruro de potasio a pH 1 y con acetato de sodio a pH 4.5 y, luego de 30 min, se leyeron las absorbancias en el espectrofotómetro en el rango visible a las longitudes de onda de 510 y 700 nm. Su contenido se

¹ Weather Underground. 2020. <https://www.wunderground.com/> (Consulta, junio 10, 2020).

expresó como cianidina-3-glucósido, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$A = (A_{510 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH } 1} - (A_{510 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH } 4.5}$$

$$\text{Antocianinas (mg g}^{-1}\text{)} = (A \times \text{MW} \times \text{FD} \times V) / (\epsilon \times l \times W)$$

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 del solvente de extracción en mL;

A = absorbancia;

W = peso de la muestra en gramos.

Los análisis fueron llevados a cabo por triplicado.

Análisis de los Datos

Se analizaron las diferentes variables morfológicas, rendimiento y la cantidad de antocianinas en el olote y en las brácteas en cada tratamiento y año experimental, y luego; se colocaron los promedios. Las medias entre los tratamientos se compararon en base a la prueba LSD a un nivel de significancia de $P = 0.05$, utilizando el software estadístico InfoStat, versión 2020 (Di Rienzo *et al.*, 2020).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento

Los análisis del rendimiento en ambos lugares muestran diferencias altamente significativas al compararse con el control ($P \leq 0.001$) tal como se muestra en los Cuadros 2 y 4.

En las cinco variedades mejoradas usadas se muestran que los rendimientos promedios más altos se obtuvieron en Llanupacha (Cuadros 3 y 5).

Los ensayos realizados en Llanupacha muestran que la variedad INIA-601 obtuvo el rendimiento promedio más alto de 5.3 Mg ha⁻¹, seguido de las variedades MMM e INIA-615, ambas con 4.6 Mg ha⁻¹; sin embargo, las variedades UNC-47 y PM-581, presentaron los rendimientos más bajos de 4 y 3.5 Mg ha⁻¹, respectivamente. A pesar que los rendimientos de las variedades usadas en Lollón fueron menores, siguen el mismo patrón; es decir, la variedad INIA obtuvo el más alto rendimiento promedio de 4.5 Mg ha⁻¹, seguido de las variedades MMM y INIA-615, ambos con 3.6 Mg ha⁻¹, un poco menor 3.2 Mg ha⁻¹ para la variedad UNC-47 y de 2.6 Mg ha⁻¹ para el PM-581. El Canteño usado como Control, presentó valores estadísticamente similares de 2.9 Mg ha⁻¹ en ambos lugares.

Los resultados en ambos lugares muestran que la variedad INIA-601 destacó, ello debido a que procede de una población de 256 progenies de medios

Cuadro 2. Análisis del cuadrado medio (CM), valor P y el coeficiente de variación (CV) del rendimiento, características agronómicas de las variedades del maíz morado realizados en Llanupacha en 2017/18 y 2018/19.

Table 2. Mean square analysis (CM), P-value and coefficient of variation (CV) of yield and agronomic characteristics of the purple corn varieties produced in Llanupacha in 2017/18 and 2018/19.

| Tratamiento | RGN | | AP | | AM | | FF | | FM | |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2017/18 | 2018/19 | 2017/18 | 2018/19 | 2017/18 | 2018/19 | 2017/18 | 2018/19 | 2017/18 | 2018/19 |
| CM | 2.57 | 1.9 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 10.5 | 21.69 | 20.52 | 22.08 |
| Valor P | 0.0001 | <0.0001 | 0.0229 | 0.0209 | 0.0061 | 0.0008 | 0.0402 | <0.0001 | 0.0001 | <0.0001 |
| CV | 10.58 | 4.49 | 5.89 | 5.65 | 9.38 | 7.92 | 1.38 | 0.28 | 0.99 | 0.29 |

RGN = rendimiento del grano; AP = altura de la planta; AM = altura de mazorca; FF = días al 50% de florecimiento femenino; FM = días al 50% de florecimiento masculino.

RGN = grain yield; AP = height of the plant; AM = ear height; FF = days at 50% of female flowering; FM = days at 50% of male flowering.

Cuadro 3. Valores de rendimiento y variables agronómicas de las variedades del maíz morado realizado en Llanupacha en el 2017/18 y 2018/19.**Table 3. Yield and agronomic variables values of the purple corn varieties produced in Llanupacha in 2017/18 and 2018/19.**

| | Variedad | | | | | |
|----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| | INIA-601 | MMM | UNC-47 | INIA-615 | PM-581 | Canteño |
| RNG (Mg ha ⁻¹) | | | | | | |
| 2017/18 | 5.2 c | 4.6 c | 3.6 b | 4.7 c | 3.4 ab | 2.8 a |
| 2018/19 | 5.3 d | 4.6 c | 4.3 c | 4.4 c | 3.6 c | 3.0 a |
| Promedio | 5.3 | 4.6 | 4.0 | 4.6 | 3.5 | 2.9 |
| AP (m) | | | | | | |
| 2017/18 | 1.94 bc | 2.0 c | 1.93 bc | 1.80 ab | 1.67 a | 1.8 ab |
| 2018/19 | 1.85 b | 1.85 b | 1.81 b | 1.92b | 1.58 a | 1.74 ab |
| Promedio | 1.90 | 1.93 | 1.87 | 1.86 | 1.63 | 1.77 |
| AM (m) | | | | | | |
| 2017/18 | 0.96 c | 0.94 c | 0.94 c | 0.87 bc | 0.79 ab | 0.67 a |
| 2018/19 | 0.8 bc | 0.82 bc | 0.8 bc | 0.89 c | 0.58 a | 0.72 b |
| Promedio | 0.88 | 0.88 | 0.87 | 0.88 | 0.69 | 0.70 |
| FF (días) | | | | | | |
| 2017/18 | 126.4 a | 130.3 b | 128. ab | 126.7 a | 128.1 ab | 131 b |
| 2018/19 | 126.3 c | 125.3 b | 126.9 c | 124.5 a | 128.1 d | 132.1 e |
| Promedio | 126.4 | 127.8 | 127.5 | 125.6 | 128.3 | 131.6 |
| FM (días) | | | | | | |
| 2017/18 | 121 b | 123.7 d | 121.3 bc | 118.4 a | 123.2 cd | 126 e |
| 2018/19 | 116.3 a | 117.2 ab | 117 ab | 118.2 b | 122.4 c | 122 c |
| Promedio | 118.7 | 120.5 | 119.2 | 118.3 | 122.8 | 124 |

RGN = rendimiento del grano; AP = altura de la planta; AM = altura de mazorca; FF = días al 50% de florecimiento femenino; FM = días al 50% de florecimiento masculino. Las diferencias en las letras indican que son significativos a un nivel de $P \leq 0.05$.

RGN = grain yield; AP = height of the plant; AM = ear height; FF = days at 50% of female flowering; FM = days at 50% of male flowering. Letters differences indicate significant differences at a level of $P \leq 0.05$.

Cuadro 4. Análisis del cuadrado medio (CM), valor P y coeficiente de variación (CV) del rendimiento y de las características agronómicas de las variedades del maíz morado en Llollón en 2017/18 y 2018/19.**Table 4. Mean square analysis (CM), P -value and coefficient of variation (CV) of the yield and agronomic characteristics of purple corn varieties in Llollón in 2017/18 and 2018/19.**

| Tratamiento | RGN | | AP | | AM | | FF | | FM | |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 2017/18 | 2018/19 | 2017/18 | 2018/19 | 2017/18 | 2018/19 | 2017/18 | 2018/19 | 2017/18 | 2018/19 |
| CM | 1.19 | 1.39 | 0.13 | 0.14 | 0.12 | 0.08 | 545.52 | 646.27 | 309.29 | 346.71 |
| Valor P | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 |
| CV | 5.44 | 3.61 | 286 | 3.36 | 6.02 | 6.04 | 0.18 | 1.15 | 0.49 | 0.51 |

RGN = rendimiento del grano; AP = altura de la planta; AM = altura de mazorca; FF = días al 50% de florecimiento femenino; FM = días al 50% de florecimiento masculino.

RGN = grain yield; AP = height of the plant; AM = ear height; FF = days at 50% of female flowering; FM = days at 50% of male flowering.

Cuadro 5. Valores de rendimiento y variables agronómicas realizados en las diferentes variedades del maíz morado en Llollón en 2017/18 y 2018/19.**Table 5. Yield and agronomic variables values obtained in the different purple corn varieties in Llollon, in 2017/18 and 2018/19.**

| | Variedad | | | | | |
|----------------------------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|
| | INIA-601 | MMM | UNC-47 | INIA-615 | PM-581 | Canteño |
| RNG (Mg ha ⁻¹) | | | | | | |
| 2017/18 | 4.3 e | 3.6 d | 3.1 bc | 3.4 cd | 2.5 a | 2.8 ab |
| 2018/19 | 4.6 e | 3.5 c | 3.2 b | 3.7 d | 2.7 a | 2.8 a |
| Promedio | 4.5 | 3.6 | 3.2 | 3.6 | 2.6 | 2.8 |
| AP (m) | | | | | | |
| 2017/18 | 2.28 c | 2.30 c | 2.20 c | 2.03 b | 1.75 a | 2.01 b |
| 2018/19 | 2.42 c | 2.36 bc | 2.25 b | 2.37 bc | 1.96 a | 1.93 a |
| Promedio | 2.35 | 2.33 | 2.23 | 2.2 | 1.86 | 1.97 |
| AM (m) | | | | | | |
| 2017/18 | 1.23 cd | 1.31 d | 1.31 d | 1.15 c | 1.02 b | 0.79 a |
| 2018/19 | 1.26 c | 1.09 b | 1.04 b | 1.14 b | 0.76 a | 1.10 b |
| Promedio | 1.25 | 1.2 | 1.18 | 1.15 | 0.89 | 0.95 |
| FF (días) | | | | | | |
| 2017/18 | 102 b | 111 d | 105 c | 101.4 a | 128.8 e | 131.3 f |
| 2018/19 | 101.9 a | 104.3 b | 100.3 a | 101.5 a | 128.5 c | 132.1 d |
| Promedio | 102 | 107.7 | 102.7 | 101.5 | 128.7 | 131.7 |
| FM (días) | | | | | | |
| 2017/18 | 98 b | 105 c | 98.1 b | 93.9 a | 110.5 d | 121.4 e |
| 2018/19 | 98.6 b | 101 c | 100.5 c | 92.7 a | 112.4 d | 122.2 e |
| Promedio | 98.3 | 103 | 99.3 | 93.3 | 111.5 | 121.8 |

RGN = rendimiento del grano; AP = altura de la planta; AM = altura de mazorca; FF = días al 50% de florecimiento femenino; FM = días al 50% de florecimiento masculino. Las diferencias en las letras indican que son significativos a un nivel de $P \leq 0.05$.

RGN = grain yield; AP = height of the plant; AM = ear height; FF = days at 50% of female flowering; FM = days at 50% of male flowering. The differences in the letters indicate that they are significant at a level of $P \leq 0.05$.

hermanos, de los cuales 108 son de la variedad del maíz morado de Caraz y 148 son progenies de la variedad local Negro de Parubamba (Pedraza *et al.*, 2017). Debido a la gran variabilidad genética, la variedad INIA-601 presenta un comportamiento estable y supera a los demás fenotipos.

Por otro lado, la variedad PM-581 presentó los rendimientos más bajos en ambos lugares debido al estrés hídrico, resultados acorde con Ruane *et al.* (2013), quien reportó el rendimiento para esta variedad de 2.7 Mg ha⁻¹.

Pedraza *et al.* (2017) tras su estudio en Amazonas a 2820 m de altitud, cuyo diseño experimental fue de cinco surcos, con 40 cm de distancia entre plantas,

reportó rendimientos para las variedades INIA-615, UNC-47, PM-581 fueron de 4.8, 4 y 2.9 Mg ha⁻¹, respectivamente. En otro estudio sobre niveles de fertilización realizados en localidad de Canaán-Ayacucho, la variedad INIA-615 tuvo un rendimiento de 3.67 Mg ha⁻¹ y el PM-581, 2.78 Mg ha⁻¹ (Pinedo *et al.*, 2017), valores más bajos de los encontrados en el presente trabajo de investigación.

Los resultados muestran que la heterogeneidad entre ambientes está relacionada principalmente con diferencias en la altitud, tipo de suelo, temperatura, precipitación durante la campaña agrícola, variedad y diseño experimental (Vásquez, 2014; Parihar *et al.*, 2016).

Altura de Planta y Mazorca

Los análisis de altura de planta y mazorca mostraron diferencias significativas en sus tratamientos ($P \leq 0.05$) tras ser comparadas con el control (Cuadros 2 y 4).

Los valores más altos de la altura de planta y mazorca, realizados en Llanupacha, fueron para las variedades INIA-601 (1.9 y 0.88 m) y MMM (1.93 y 0.88 m), seguido de las variedades UNC-47 (1.87 y 0.87 m) e INIA-615 (1.86 y 0.88 m), ambos con valores similares, y la variedad PM-581 (1.63 y 0.69 m), respectivamente.

Por otro lado, los análisis realizados en Llollón mostraron que las diferentes variedades presentaron valores más altos de altura de planta y mazorca. La variedad INIA-601 (2.35 y 1.25 m) fue estadísticamente similar a la variedad MMM (2.33 y 1.2 m), le siguieron las variedades UNC-47 (2.23 y 1.18 m) e INIA-615 (2.2 y 1.15 m), y con los valores más bajos para la variedad PM-581 (1.86 y 0.89 m), para la altura de planta y mazorca, respectivamente.

La variedad PM-581 presentó valores bajos de altura de planta y mazorca, así como también en el rendimiento, sugiriendo que dicha variedad requiere del uso de mayor cantidad de fertilizantes y recurso hídrico en los ensayos agronómicos.

La altura de planta para la variedad INIA-601 fue de 2 m (Pedraza *et al.*, 2017), este valor es similar al valor obtenido en Llanupacha para la misma variedad con 1.9 m de altura y un poco más bajo que en Llollón, cuya altura promedio fue de 2.35 metros.

Floración Femenina y Masculina

Los análisis de la floración femenina y masculina en todos los tratamientos mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) cuando fueron comparados con el control (Cuadros 2 y 4).

Los ensayos realizados en Llanupacha mostraron que el INIA-615 fue el más precoz tanto en el florecimiento femenino como masculino, con 125.6 y 118.3 d, respectivamente. Las otras tres variedades (INIA-601, MMM y UNC-47) fueron estadísticamente similares en el florecimiento femenino alcanzando 126.4, 127.8 y 127.5 d en promedio, mientras, que su florecimiento masculino promedio fue de 118.7, 120.5 y 119.2 d, respectivamente. La variedad más tardía en florecer fue el PM-581 con 128.3 d para el florecimiento

masculino y de 122.8 d para el florecimiento femenino.

Por otro lado, el florecimiento femenino como masculino en promedio, analizados en las diferentes variedades en Llollón fueron más precoces, evidenciados por los valores más bajos. La variedad más precoz fue el INIA-615 con 101.5 d para el florecimiento masculino y de 93.3 d para el florecimiento femenino. Le siguieron las variedades INIA-601 (102 y 98.3 d) y UNC-47 (102.7 y 99.3 d) y un poco después para la variedad MMM (107.7 y 103 d); mientras que la variedad PM-581 resultó la más tardía con 128.7 y 111.5 d para el florecimiento masculino como femenino, respectivamente.

Los resultados sugieren que la variedad más precoz tanto para el florecimiento femenino y masculino fue para el INIA-615, seguido del INIA-601 en Llollón. Requis (2012) reporta que la floración ocurrió entre los 90 a 105 d para esta variedad en la sierra media, estas diferencias en valores evidencian que esta variedad tolera altitudes de entre 2600 a 2900 m. Pedraza *et al.* (2017) indicó que la floración para la variedad PM-581 fue entre 50 a 60 d, sembrado a una altitud de 1200 a 1400 m, en la costa central y sierra media, estos resultados varían de los encontrados evidentemente porque los ensayos agronómicos fueron realizados a altitudes mucho mayores de entre 2700 a 3200 metros.

Número de Plantas y Prolificidad

Los análisis del número de plantas y de la prolificidad, que es el número de mazorcas/plantas mostraron ser no significativos en ambos lugares y en ambos años de estudio. En el Cuadro 6, se puede observar que los valores de la altura de planta en Llanupacha en todas las variedades fueron estadísticamente similares a 32 en promedio, resaltando la variedad INIA-601 con 34 y en Llollón, también los valores fueron similares a 31 y la variedad INIA-601 obtuvo 32.8. La prolificidad en Llanupacha fue de 1.3 en promedio en todas las variedades, mientras que en Llollón fue de 0.9 en promedio.

Porcentaje de Pudrición (PP) de Mazorcas

El Cuadro 7 muestra el análisis del PP de mazorcas evidenciando diferencias altamente significativas en sus tratamientos cuando fueron comparados con el control ($P \leq 0.001$).

Cuadro 6. Valores de número de planta y prolificidad realizados en las diferentes variedades del maíz morado en Llollón y en Llanupacha.

Table 6. Number of plants and prolificacy values obtained in the different purple corn varieties in Llollon and in Llanupacha.

| Variedad | Llanupacha | | | | | | Llollón | | | | | |
|----------|------------|---------|-------|--------------|---------|-------|---------|---------|-------|--------------|---------|-------|
| | NP | | | Prolificidad | | | NP | | | Prolificidad | | |
| | 2017/18 | 2018/19 | Prom. | 2017/18 | 2018/19 | Prom. | 2017/18 | 2018/19 | Prom. | 2017/18 | 2018/19 | Prom. |
| INIA-601 | 30.5 a | 34.0 a | 32.3 | 1.3 ab | 1.3 a | 1.3 | 35.0 a | 30.5 a | 32.8 | 0.9 a | 0.9 a | 0.9 |
| MMM | 37.3 b | 32.5 a | 34.9 | 1.4 b | 1.4 a | 1.4 | 32.0 a | 33.0 a | 32.5 | 1.0 c | 1.0 c | 1.0 |
| UNC-47 | 34.0 ab | 32.8 a | 33.4 | 1.3 a | 1.3 a | 1.3 | 28.5 a | 30.8 a | 29.7 | 0.9 bc | 0.9 bc | 0.9 |
| INIA-615 | 33.5 ab | 32.8 a | 33.2 | 1.3 a | 1.3 a | 1.3 | 30.8 a | 31.3 a | 31.1 | 0.8 a | 0.8 a | 0.8 |
| PM-581 | 30.75 a | 32.3 a | 31.6 | 1.3 ab | 1.3 a | 1.3 | 30.8 a | 30.0 a | 30.4 | 1.1 c | 1.1 c | 1.1 |
| Canteño | 32.0 ab | 34.0 a | 33.0 | 1.3 ab | 1.3 a | 1.3 | 34.5 a | 30.0 a | 32.3 | 0.9 ab | 0.9 ab | 0.9 |

NP = número de plantas; Prolificidad = número de mazorcas plantas⁻¹; Prom. = promedio.
NP = number of plants; Prolificidad = number of ear plants⁻¹; Prom. = average.

Los análisis del PP realizados Llanupacha fueron bajos (<4.1%) en todas las variedades, excepto para el PM-581 con 6.4% en promedio. Por otro lado, el PP de las diferentes variedades fueron más altos en Llollón, la variedad INIA-601 y MMM alcanzaron valores de 7.3 y 7.1%, y las variedades UNC-47, INIA-615 mostraron de 6.7 y 5.9%, respectivamente, mientras que, la variedad PM-581 mostró el valor de porcentaje de pudrición más alto con 11% en promedio (Cuadro 8). Este parámetro es muy importante en el estudio agronómico, ya que el porcentaje de pudrición de mazorca generada por los hongos no

Cuadro 7. Análisis cuadrado medio (CM), valor *P* y coeficiente de variación (CV) del porcentaje de pudrición de mazorcas en las diferentes variedades del maíz morado.

Table 7. Mean square analysis (CM), *P*-value and coefficient of variation (CV) of the percentage of rot of ear in the different purple corn varieties.

| Tratamiento | Llanupacha | | Llollón | |
|-------------|-------------------------------------|---------|---------|---------|
| | Porcentaje de pudrición de mazorcas | | | |
| | 2017/18 | 2018/19 | 2017/18 | 2018/19 |
| CM | 7.75 | 6.87 | 8.87 | 10.99 |
| Valor P | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 |
| CV | 2.18 | 2.49 | 0.99 | 1.77 |

solamente reduce la calidad del producto sino también trae como consecuencias a la salud humana y animal, debido principalmente a la producción de micotoxinas.

Cantidad de Antocianinas en el Olote y Brácteas

El Cuadro 9 muestra los análisis de la cantidad de antocianinas en el olote y brácteas en las diferentes variedades en los años 2017/18 y 2018/19 mostrando diferencias altamente significativas ($P \leq 0.001$).

Los resultados en la cantidad de antocianinas en el olote utilizando las diferentes variedades en los dos niveles altitudinales fueron estadísticamente similares, excepto la variedad INIA-601, que fue superior fue superior no solamente en el contenido de antocianinas en el olote, sino también en las brácteas, tal como se muestra en el Cuadro 10.

Los análisis de la cantidad de antocianina en el olote realizados en Llanupacha como en Llollón, muestran que los valores más altos lo obtuvo la variedad INIA-601 (6.7 y 7.5 mg g⁻¹), le siguieron las variedades MMM (6.1 y 6.2 mg g⁻¹), UNC-47 (6.5 y 6.7 mg g⁻¹) y luego la variedad INIA-615 (5.8 y 6 mg g⁻¹), mientras que, la cantidad más chica, la presentó la variedad PM-581 (4.7 y 4.9 mg g⁻¹), respectivamente. Los resultados muestran que el contenido de antocianinas en el olote depende de la variedad y localidad usada en el diseño experimental agronómico.

Cuadro 8. Valores del porcentaje de pudrición de mazorcas en las variedades del maíz morado en los dos niveles altitudinales en el 2017/18 y 2018/19.**Table 8. Percentage of rot of ear in purple corn varieties at the two altitudinal levels in 2017/18 and 2018/19.**

| Variedad | Llanupacha | | | Llollón | | |
|----------|-------------------------------------|---------|----------|---------|---------|----------|
| | Porcentaje de pudrición de mazorcas | | | | | |
| | 2017/18 | 2018/19 | Promedio | 2017/18 | 2018/19 | Promedio |
| INIA-601 | 3.9 e | 4.2 d | 4.1 | 7.5 e | 7.1 c | 7.3 |
| MMM | 3 d | 3.2 c | 3.1 | 7.2 d | 7 c | 7.1 |
| UNC-47 | 2.8 c | 2.6 b | 2.7 | 6.8 c | 6.5 b | 6.7 |
| INIA-615 | 2.0 a | 2.5 b | 2.3 | 6.0 a | 5.8 a | 5.9 |
| PM-581 | 6.4 f | 6.3 e | 6.4 | 10.7 f | 11.2 d | 11 |
| Canteño | 2.5 b | 2.3 a | 2.4 | 6.4 b | 6.9 c | 6.7 |

Las diferencias en las letras indican que son significativos a un nivel de $P \leq 0.05$.
Letter differences indicate significant differences at a level of $P \leq 0.05$.

Por otro lado, las cantidades de antocianinas en las brácteas en los dos niveles altitudinales fueron menores a 3 mg g^{-1} , resaltando la variedad INIA-601 (2.9 y 2.5 mg g^{-1}), seguido de la variedad UNC-47 (2.8 mg g^{-1} y 1.7 mg g^{-1}), y en cantidades mucho menores, la variedad MMM (1.1 mg g^{-1} y 1.1 mg g^{-1}) tanto en Llanupacha como en Llollón, respectivamente, mientras que las variedades INIA-615 y PM-581 mostraron valores ínfimos en ambos niveles altitudinales, cuyas concentraciones fueron menores a 0.5 mg g^{-1} .

Cabe señalar, que el Canteño usado como control en los ensayos agronómicos, evidencio cantidades

similares en contenido de antocianinas en la tusa de (5.1 y 5.2 mg g^{-1}) en Llanupacha y en Llollón, respectivamente; sin embargo, el contenido de antocianinas en las brácteas, en ambos fueron ínfimos, de 0.2 mg g^{-1} . El bajo rendimiento del contenido de antocianinas en las brácteas en el Canteño muestra que sería el menos recomendable para su comercialización.

Pinedo *et al.* (2017) indican que la cantidad de antocianinas en las tusas en las variedades INIA-615 y PM-581 fueron de 1.82 y 1.69 mg g^{-1} , respectivamente, resultados que concuerdan con los obtenidos en el presente trabajo de investigación.

Cuadro 9. Análisis del cuadrado medio (CM), valor P y coeficiente de variación (CV) de la cantidad de antocianinas en el olote y brácteas en las variedades del maíz morado en el 2017/18 y 2018/19.**Table 9. Mean square analysis (CM), P -value and the coefficient of variation (CV) of the amount of anthocyanins in the ear and bracteas of the purple corn varieties in 2017/18 and 2018/19.**

| Tratamiento | Llanupacha | | | | Llollón | | | |
|-------------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | CAO | | CAB | | CAO | | CAB | |
| | 2017/18 | 2018/19 | 2017/18 | 2018/19 | 2017/18 | 2018/19 | 2017/18 | 2018/19 |
| CM | 1.69 | 1.85 | 5.81 | 4.49 | 3.56 | 2.22 | 2.57 | 2.33 |
| Valor P | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 |
| CV | 3.05 | 2.66 | 11.02 | 10.3 | 3.29 | 3.38 | 9.09 | 15.96 |

CAO = cantidad de antocianina en el olote; CAB = cantidad de antocianina en las brácteas.
CAO = amount of anthocyanin in the cob; CAB = amount of anthocyanin in the bracts.

Cuadro 10. Valores de las antocianinas en el olote y en las brácteas en las variedades del maíz morado en las dos localidades en el 2017/18 y 2018/19.

Table 10. Values of anthocyanins in the ear and the bracts for the purple corn varieties at two localities in 2017/18 and 2018/19.

| Variedad | Llanupacha | | | | | | Llollón | | | | | |
|--------------------------------|------------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|---------|-------|---------|---------|-------|
| | CAO | | Prom. | CAB | | Prom. | CAO | | Prom. | CAB | | Prom. |
| | 2017/18 | 2018/19 | | 2017/18 | 2018/19 | | 2017/18 | 2018/19 | | 2017/18 | 2018/19 | |
| ----- mg g ⁻¹ ----- | | | | | | | | | | | | |
| INIA-601 | 6.5 c | 6.8 d | 6.7 | 3.1 d | 2.6 c | 2.9 | 7.6 e | 7.3 d | 7.5 | 2.6 e | 2.4 e | 2.5 |
| MMM | 6.0 b | 6.2 c | 6.1 | 0.7 b | 1.4 b | 1.1 | 6.3 c | 6.0 b | 6.2 | 1 c | 1.2 c | 1.1 |
| UNC-47 | 6.3 c | 6.6 d | 6.5 | 2.8 | 2.7 c | 2.8 | 6.9 d | 6.5 c | 6.7 | 1.5 d | 1.9 d | 1.7 |
| INIA-615 | 5.7 b | 6.0 c | 5.8 | 0.2 a | 0.2 a | 0.2 | 5.8 b | 6.1 b | 6 | 0.4 b | 0.6 b | 0.5 |
| PM-581 | 4.6 a | 4.8 a | 4.7 | 0.1 a | 0.2 a | 0.2 | 4.8 a | 4.9 a | 4.9 | 0.4 b | 0.3 ab | 0.4 |
| Canteño | 4.9 a | 5.2 b | 5.1 | 0.2 a | 0.2 a | 0.2 | 5.1 a | 5.3 a | 5.2 | 0.2 a | 0.2 a | 0.2 |

CAO = cantidad de antocianina en el olote; CAB = cantidad de antocianina en las brácteas; Prom. = promedio. Las diferencias en las letras indican que son significativos a un nivel de $P \leq 0.05$.

CAO = amount of anthocyanin in the cob; CAB = amount of anthocyanin in the bracts; Prom. = average. The differences in the letters indicate that they are significant at a level of $P \leq 0.05$.

CONCLUSIONES

Las diferentes variedades mostraron rendimientos más altos y el menor porcentaje de pudrición de mazorcas en Llanupacha (3140 m de altitud) que en Llollón (2770 m de altitud) y en sentido inverso, es decir, fueron los más tardíos en el florecimiento femenino y masculino y tuvieron menor altura de planta y mazorca. La variedad INIA-601, destacó con el más alto rendimiento promedio. Las variedades MMM e INIA-601 presentaron las mayores alturas de la planta y mazorca. La variedad INIA-615 logró ser la variedad más precoz en el florecimiento femenino y masculino en ambos niveles altitudinales. La variedad INIA-601 se destacó por presentar la mayor cantidad de antocianinas en el olote y en las brácteas.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Todos los datos generados o analizados durante este estudio se incluyen en este artículo publicado.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses de competencia.

FONDOS

Financiado por el Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA) del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

La autora M.R.A., ha contribuido en el desarrollo de las metodologías usadas, análisis de datos, preparación del borrador original, escritura y la autora A.M.H., ha contribuido en la revisión del trabajo experimental, revisión de la publicación y adquisición de fondos.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los productores de los caseríos del distrito de Ichocán.

LITERATURA CITADA

- Agrodataperu. 2020. Exportaciones peruanas del maíz morado. <https://www.agrodataperu.com/2020/03/maiz-morado-peru-exportacion-2020-febrero.html> (Consulta, junio 10, 2020).
- Bueno, J., P. Sáez-Plaza, F. Ramos-Escudero, A. M. Jiménez, R. Fett, and A. G. Asuero. 2012. Analysis and antioxidant capacity of anthocyanin pigments. Part II: Chemical Structure, color, and intake of anthocyanins. *Crit. Rev. Anal. Chem.* 42: 126-151. doi: <https://doi.org/10.1080/10408347.2011.632314>.
- Castañeda-Sánchez, A. y J. A. Guerrero-Beltrán. 2015. Pigmentos en frutas y hortalizas rojas: antocianinas. *Temas Selec. Ing. Alim.* 9: 25-33.
- Ccaccya, A. M., M. Soberón e I. Arnao. 2019. Estudio comparativo del contenido de compuestos bioactivos y cianidina-3-glucósido del maíz morado (*Zea mays* L.) de tres regiones del Perú. *Rev. Soc. Quím. Perú* 85: 206-215. doi: <https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i2.78>.
- Chen, L., M. Yang, H. Mou, and Q. Kong. 2017. Ultrasound-assisted extraction and characterization of anthocyanins from purple corn bran. *J. Food Process. Preserv.* 2018: e13377. doi: <https://doi.org/10.1111/jfpp.13377>.
- Cristiani, M. and J. S. Guillén. 2020. Extraction of bioactive compounds from purple corn using emerging technologies: A review. *J. Food Sci.* 85: 862-869. doi: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15074>.
- Requis Varillas, Florencio V. 2012. Manejo agronómico del maíz morado en los valles interandinos del Perú. INIA-EEA Canaán-Ayacucho. Lima-Perú.
- Giusti, M. M. and R. E. Wrolstad. Characterization and measurements of anthocyanins by UV-Visible spectroscopy. *Curr. Protoc. Food Anal. Chem.* 00: F1.2.1-F1.2.13. doi: <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>.
- Khoo, H. E., A. Azlan, S. T. Tang, and S. M. Lim. 2017. Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and potential health benefits. *Review. Food Nutr. Res.* 61. doi: <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>.
- Lao, F., G. T. Sigurdson, and M. M. Giusti. 2017. Health benefits of purple corn (*Zea mays* L.) phenolic compounds. *Compreh. Rev. Food Sci. Food Safety* 14: 234-246. doi: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12249>.
- Lee, Y. M., Y. Yoon, H. Yoon, H. M. Park, S. Song, and K. J. Yourn. 2017. Dietary anthocyanins against obesity and inflammation. *Nutrients* 9: 1089. doi: <https://doi.org/10.3390/nu9101089>.
- Li, D., P. Wang, Y. Luo, M. Zhao, and F. Chen. 2017. Health benefits of anthocyanins and molecular mechanisms: Update from recent decade. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 57: 1729-1741. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2015.1030064>.
- Manrique, A. 1997. El maíz en el Perú. Volumen 10 de la Serie Tecnologías. CONCYTEC. Lima, Perú.
- Parihar, C. M., S. L. Jat, A. K. Singh, B. Kumar, Y. Singh, S. Pradhan, V. Pooniya, A. Dhauja, V. Chaudhary, M. L. Jat, R. K. Jat, and O. P. Yadav. Conservation agricultural in irrigated intensive maize-based systems of north-western India: Effects on crops yields, water productivity and economic profitability. *Field Crops Res.* 2016 193: 104-116. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.03.013>.
- Pedraza, M., G. Idrogo y S. Pedraza. 2017. Densidad de siembra y comportamiento agronómico de tres variedades de maíz morado (*Zea mays* L.). *Rev. ECIPerú* 14: 20-40. doi: <https://doi.org/10.33017/RevECIPerú2017.0003/>.
- Pinedo, R., G. Rodríguez y N. Valverde. 2017. Niveles de fertilización en dos variedades de maíz morado (*Zea mays* L.) en la localidad de Canaán-Ayacucho. *Aporte Santiaguino* 10: 39-50.
- Quevedo-Willis, S. 2013. Maíz blanco urubamba (blanco gigante Cusco). Manual técnico no. 13. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Cusco, Perú.
- Di Rienzo, J. A., F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y C. W. Robledo. 2020. InfoStat, Versión 2020. Grupo InfoStat. Universidad Nacional de Córdoba. Ed. Brujas. Argentina. <https://www.infostat.com.ar/>. (Consulta:.....)
- Ruane, A. C., L. D. Cecil, R. M. Horton, R. Gordón, R. McCollum, D. Brown, B. Killough, R. Goldberg, A. P. Greeley, and C. Rosenzweig. 2013. Climate change impact uncertainties for maize in Panama: Farm information, climate projections, and yield sensitivities. *Agric. Forest Meteorol.* 170: 132-145. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.10.015>.
- Somavat, P., Q. Li, E. Gonzales de Mejía, W. Liu, and V. Singh. 2016. Coproduct yield comparisons of purple, blue and yellow dent corn for various milling processes. *Ind. Crops Prod.* 87: 266-272. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.062>.
- Yazhen, S., W. Wenju, Z. Panpan, Y. Yuanyuan, D. Panpan, Z. Wusen, and W. Yanling. 2020. Anthocyanins: Novel antioxidants in diseases prevention and human health. pp. 1-16. *In: F. A. Badria and A. Ananga (eds). Flavonoids-A coloring model for cheering up life. IntechOpen, China. Print ISBN: 978-1-78923-973-7.*