

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Caracterización y Componentes de Rendimiento de Poblaciones Experimentales de
Maíz Pigmentado

Por:

GUALFRED PÉREZ PÉREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Caracterización y Componentes de Rendimiento de Poblaciones Experimentales
de Maíz Pigmentado

Por:

GUALFRED PÉREZ PÉREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:

Dr. Antonio Flores Naveda
Asesor Principal

Dr. Armando Muñoz Urbina
Coasesor

Dr. Josué Israel García López
Coasesor

Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía

Buenavista Saltillo, Coahuila, México.

Junio, 2022



Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, vídeos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Gualfred Pérez Pérez

AGRADECIMIENTOS

A **Jehová Dios** por darme el tiempo y la vida para poder lograr mi objetivo, por siempre acompañarme a donde fuera, por cuidarme cuando me encontraba lejos de casa y darme las fuerzas para seguir adelante.

A mi **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por haberme acogido como un miembro más de sus aulas, por brindarme sus conocimientos científicos y darme la oportunidad de ser un profesional. Lugar donde conocí a muchos de mis compañeros los cuales se convirtieron en parte de mi familia que ahora los llevo en mi corazón.

Mi agradecimiento a mi asesor de tesis al **Dr. Antonio Flores Naveda**, por ayudarme en este trayecto de mi vida académica, así como por compartir sus conocimientos y contribuir a mi formación profesional.

Al **Dr. Armando Muñoz Urbina** por brindarme sus conocimientos, tiempo y dedicación, que fueron fundamentales para poder culminar mi proyecto de investigación.

Al **Dr. Josué Israel García López** por brindarme su tiempo y dedicación, para la revisión y aportaciones a este proyecto, gracias.

Al **Dr. Neymar Camposeco Montejo** por su tiempo, confianza y por sus aportaciones al presente proyecto, gracias.

A toda mi familia por brindarme su apoyo, por esas palabras de ánimo, por sus consejos que me ayudaron a seguir mis sueños, este logro también pertenece a ellos, estoy infinitamente agradecido con ellos.

A esas personas que me brindaron su amistad y apoyo, quienes me dieron palabras de ánimo siempre los llevare conmigo.

DEDICATORIA

A mi madre **Guadalupe Pérez Hernández** y a mi padre **Edras Pérez Sambrano**, quienes fueron pieza fundamental en mi formación profesional, por los grandes esfuerzos y sacrificios que han hecho para que pudiera lograr este objetivo, todo es gracias a ellos.

A mis hermanos; **Valentín Pérez Pérez, Leyla A. Pérez Pérez, Lisbet Pérez Pérez, Janilet Pérez Pérez, Nanci A. Pérez Pérez**, por su apoyo incondicional en cada instante de mi vida, sus consejos y esfuerzos que realizaron para que yo pudiera alcanzar mi objetivo, especialmente a mi hermana **Lisbet Pérez Pérez** quien fue un pilar fundamental en el proceso de mi formación, a quien le agradezco infinitamente su apoyo.

A mis abuelos queridos, especialmente a mi abuela **Lucina Zambrano**, de quien no pude despedirme por última vez, por seguir mis sueños, el cual hoy en día lo cumplí, a quien siempre llevare en mi corazón.

A mis familiares que siempre confiaron en mí, quienes me brindaron su apoyo a todos ellos hoy les digo que si se logró y gracias por todo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	9
1.1.	Objetivo general	10
1.2.	Objetivos específicos.....	10
1.3.	Hipótesis.....	10
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	11
2.1.	Producción de maíz a nivel mundial	11
2.2.	Producción de maíz en México.....	12
2.3.	Importancia del maíz	13
2.4.	Origen del cultivo de maíz	13
2.5.	Clasificación taxonómica	14
2.6.	Morfología de la planta	15
2.7.	La semilla y sus partes	16
2.8.	Etapas de crecimiento y desarrollo de la planta de maíz	18
2.9.	Principales plagas y enfermedades.....	20
2.10.	Razas de maíces pigmentados	22
2.11.	Características para mejoramiento del maíz en parcelas del agricultor.....	23
2.12.	Primera etapa de la selección visual	24
2.13.	Segunda etapa de selección	26
2.14.	Mejoramiento participativo de maíces criollos	28
2.15.	Caracterización varietal en mazorcas de maíz	29
2.16.	Variedad mejorada de maíz morado	30
2.17.	Calidad nutricional de maíces pigmentados	30
2.18.	Valor agregado	33
2.19.	Análisis multivariado.....	34
2.19.1.	¿Cuál es el objetivo del análisis multivariado?	35
2.19.2.	Tipos de análisis multivariado	35
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
3.1.	Localización del sitio experimental	37
3.2.	Material genético	37

3.3.	Diseño experimental.....	37
3.4.	Variables evaluadas	38
3.5.	Análisis estadísticos	39
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
V.	CONCLUSIONES.....	47
VI.	LITERATURA CITADA	49

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Genotipos de maíz pigmentado (<i>Zea mays</i> L.) evaluados en el ciclo P-V 2019 en el campo experimental de la UAAAN.....	37
Cuadro 2. Valores de distancia euclidiana y pasos de enlace para 19 criollos de maíz pigmentado, método de enlace completo.	42
Cuadro 3. Medias de siete grupos formados a un nivel de distancia euclidiana de 3.40 del análisis de conglomerados para 10 características evaluadas.	43
Cuadro 4. Valores y vectores propios para los tres primeros componentes principales de 10 variables evaluadas en 19 poblaciones de maíz. ...	44
Cuadro 5. Coeficientes de correlación fenotípicas entre variables consideradas en análisis de Componentes Principales.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción mundial de granos in 2021/2022 en millones de toneladas métricas.....	11
Figura 2. Estructura de una planta de maíz.....	15
Figura 3: Partes externas de un grano de maíz.	16
Figura 4. Fases vegetativas de la planta del maíz.....	18
Figura 5. Germinación, emergencia del coleóptilo.....	19
Figura 6. Agrupamiento de 19 criollos de maíz pigmentado evaluados en base a 10 caracteres de mazorca y planta.....	43
Figura 7. Gráfica biplot que muestra las variables-vector y grupos (Gn) de maíz criollo pigmentado, en base a dos primeros componentes principales.....	45

RESUMEN

En México el cultivo de maíz pigmentado pertenece al grupo de maíces de especialidades el cual es apreciado por su alto contenido de antocianinas, por lo tanto, el objetivo principal de esta investigación fue caracterizar 19 poblaciones de maíz pigmentado y determinar sus componentes de rendimiento de peso de la mazorca. El experimento se estableció en el ciclo agrícola Primavera-Verano, 2019 en el Campo Experimental de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) bajo el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se evaluaron 19 poblaciones de maíz pigmentado del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) perteneciente al Departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN. Se estudiaron las variables: altura de planta (AP), altura de mazorca (AM), longitud de mazorca (LM), diámetro de mazorca (DM), número de hilera por mazorca (NH), número de granos por hilera (NGH), peso de mazorca estandarizado al 10% de humedad (PM10%H), peso de grano por mazorca (PG), peso de olote por mazorca (PO) y factor de desgrane (FD). Se utilizaron dos análisis multivariados el de conglomerados (AC) y de componentes principales (ACP) para evaluar los resultados obtenidos. Con el AC se identificaron siete grupos de genotipos de maíz, de los cuales los grupos G6 (170.56 g) y G7 (156.199 g) se caracterizaron por su alto PM10%H. El ACP explicó el 61.6% de la variación total de los datos, siendo las variables de mayor peso: PM10%H y PG en el primer componente, en el segundo componente PO y FD. Los componentes de rendimiento con valores de correlación positivas que más contribuyen al peso de mazorca fueron: Peso de grano ($r= 0.929^{**}$), Longitud de mazorca ($r= 0.738^{**}$), Número de hileras ($r= 0.598^{**}$) y Número de granos por hilera ($r= 0.538^{*}$). Se pueden recomendar los criollos de maíz de los grupos G6 (16) y G7 (1, 14 y 19), para siguientes investigaciones, los cuales presentaron altos promedios para las variables: PG (135.91-151.85 g), LM (17.0-17.02 cm), NH (11.33-12.67) y NGH (32.67-33.33).

Palabras clave: *Zea mays* L., maíz pigmentado, caracterización, componentes del rendimiento y análisis multivariado.

I. INTRODUCCIÓN

En México la gran riqueza contenida en sus poblaciones nativas de maíz, representa posibilidades inmensas para la selección y recombinación de recursos genéticos de maíz en diferentes ambientes (Ortega, 1985), así como para implementar estrategias para la solución de diversos problemas del cultivo en el país.

La amplia diversidad genética de maíz que posee México contenida en sus poblaciones nativas es aprovechada para el consumo humano directo en diversas formas, que incluyen tortillas, tamales, tlacoyos, pinole y elotes; además, este acervo genético tiene un amplio potencial para la extracción industrial de pigmentos y para la elaboración de alimentos procesados (Arellano *et al.*, 2003).

En el cultivo de cereales, el maíz ocupa el primer lugar a nivel mundial con una producción de 1,207 millones de toneladas métricas (Statista, 2022). En México el maíz es el cultivo más importante, En el ciclo 2020-2021 la producción de maíz en México cerró en septiembre de 2021, con una producción de 24.5 millones de toneladas. Con respecto a la producción de maíces pigmentados, no se tienen registros estadísticos oficiales, sin embargo, en base a datos de SIAP-SAGARPA (2011) el volumen de producción de maíz blanco incluye maíz de color y pozolero, que representa apenas el 0.5% del volumen total a nivel nacional.

Por otra parte, el maíz de grano azul con endospermo harinoso posee un alto valor alimenticio y en la actualidad tiene gran demanda por su calidad nutracéutica. El maíz pigmentado debe su coloración a las antocianinas que además de ser colorantes inocuos para el consumo humano, posee importantes actividades biológicas como antioxidantes, antimutagénicas y anticancerígenas, por lo que son de interés para la industria alimenticia, farmacéutica y cosmética (Salinas *et al.*, 2012).

Por lo anterior, en el presente trabajo de investigación se realizó la caracterización y evaluación de sus componentes de rendimiento en poblaciones experimentales de maíz pigmentado con los siguientes objetivos e hipótesis.

1.1. Objetivo general

Caracterizar genotipos de maíz pigmentado y determinar sus componentes del rendimiento de peso de la mazorca.

1.2. Objetivos específicos

1. Caracterizar 19 poblaciones de maíz pigmentado en base a 10 variables de planta y mazorca.

2. Determinar los componentes del rendimiento asociados con el peso de mazorca en 19 poblaciones de maíz pigmentado.

1.3. Hipótesis

H1a. Dentro de los 19 genotipos de maíz estudiados se pueden identificar grupos con características sobresalientes.

H1o. Los 19 genotipos de maíz estudiados no permiten identificar grupos con características sobresalientes.

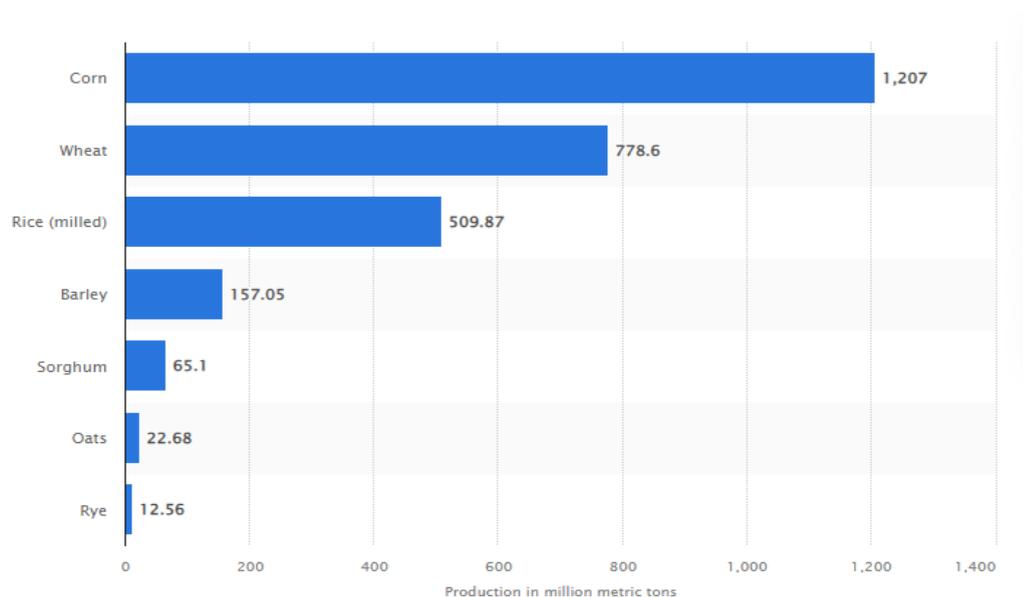
H2a. Con las variables evaluadas se pueden identificar los principales componentes de rendimiento del peso de la mazorca.

H2o. Con las variables evaluadas, no se pueden determinar los principales componentes de rendimiento del peso de la mazorca.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Producción de maíz a nivel mundial

En la siguiente estadística se muestra la producción mundial de cereales para los años 2021/2022. La producción mundial de trigo llegó a alrededor de 778.6 millones de toneladas métricas, sin embargo, el grano más importante fue el maíz, con una producción de 1.207 millones de toneladas métricas (Statista, 2022). Según datos del USDA, los mayores aumentos en la producción mundial de maíz se pronostican en China, EE. UU. y la Unión Europea, donde el consumo se estima en 9, 7 y 3 millones de toneladas más, respectivamente.



Fuente: Statista, 2022.

Figura 1. Producción mundial de granos in 2021/2022 en millones de toneladas métricas.

El maíz es uno de los cultivos más importantes en los Estados Unidos en el periodo 2016-2017 fue el responsable de más de un tercio de la producción mundial de maíz. Entre los principales países productores de maíz a nivel mundial destaca Estados Unidos con un volumen de producción de alrededor de 383,94 millones de toneladas métricas. China y Brasil completaron los principales países productores de maíz.

2.2. Producción de maíz en México

En la economía mexicana, el maíz es el cultivo más importante; ya que, la superficie cultivada con él representa 38.6% del territorio mexicano (González *et al.*, 2007). Los esfuerzos de la producción nacional se enfocan en la obtención de maíz blanco, que es utilizado en la dieta de los mexicanos. Según estadísticas del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural en relación a los avances de siembras y cosechas al 31 de diciembre del 2020, se contaba con una superficie sembrada de 1,209,277 hectáreas para la producción de maíz grano, de las cuales un total de 7,404 hectáreas, han sido siniestradas, una superficie cosechada de 1,201,873 hectáreas y una producción obtenida de 8,307,866 toneladas con un rendimiento promedio a nivel nacional de 6.912 toneladas por hectárea, esto bajo la modalidad de riego más temporal (SIAP, 2022).

Por entidades, datos del SIAP señalan que Guerrero produjo poco más de un millón 379 mil toneladas de maíz en el año agrícola 2020. En el caso del maíz blanco, Jalisco registró una producción de tres millones 087 mil 917 toneladas, en Michoacán la producción fue de un millón 967 mil 114 toneladas, mientras que el Estado de México tuvo una producción de un millón 841 mil 677 toneladas. Para el maíz amarillo, Chihuahua registró una producción de un millón 149 mil 104 toneladas, Jalisco 851 mil 479 y Tamaulipas 345 mil 444 toneladas. Históricamente México ha presentado insuficiencia en esta variedad, pues alrededor del 69 por ciento se ha cubierto con importaciones que se destinan, principalmente, al consumo de la industria pecuaria.

2.3. Importancia del maíz

El maíz es uno de los granos que mayor demanda tiene a nivel mundial. Es utilizado tanto en la dieta humana, como alimento forrajero o como insumo en la agroindustria. En México, 69% del maíz producido es destinado al consumo humano; 20% sector pecuario; industrialización 10%, y a la producción de semillas 1% (Ortega y Ochoa, 2003).

En términos de rendimiento, las variedades mejoradas han mostrado ser notablemente superiores a las nativas, pero los pequeños productores suelen preferir sus variedades locales. Esto se debe a ciertas ventajas que se han identificado en las razas nativas, que en su mayoría se siembran en los terrenos edafo-climáticamente más limitativos (Turrent *et al.*, 2012). De hecho, se han reportado razas que pueden sobrevivir donde las variedades mejoradas no tienen oportunidad (Vázquez-Carrillo *et al.*, 2010). Entre las ventajas de estos maíces destacan las siguientes: mejor manejo del riesgo agrícola, adaptación a las condiciones climáticas locales, estabilidad a la variabilidad climática, costos más bajos de los insumos necesarios para su producción, y muy importante, aptitud para la elaboración de preparaciones culinarias tradicionales (Turrent *et al.*, 2012).

2.4. Origen del cultivo de maíz

El maíz (*Zea mays* L.); es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen. Pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeas, y es la única especie cultivada de este género (Palliwai *et al.*, 2001). México es considerado como el centro de origen, domesticación y dispersión del maíz (*Zea mays* L.). A la fecha se han descrito 59 razas potencialmente diferentes (Kato *et al.*, 2009), en el continente americano se reportaron unas 300 razas, la variación en México representa 22.7 % de la diversidad del maíz en el continente (Serratos, 2009).

Esta diversidad está presente aun a nivel de microrregiones o ambientes específicos, a la que Muñoz (2005) denomina patrón etnofitogenético o patrón varietal y lo define como el conjunto de grupos de variedades de maíz, los estratos o niveles ambientales y las relaciones entre ellos.

2.5. Clasificación taxonómica

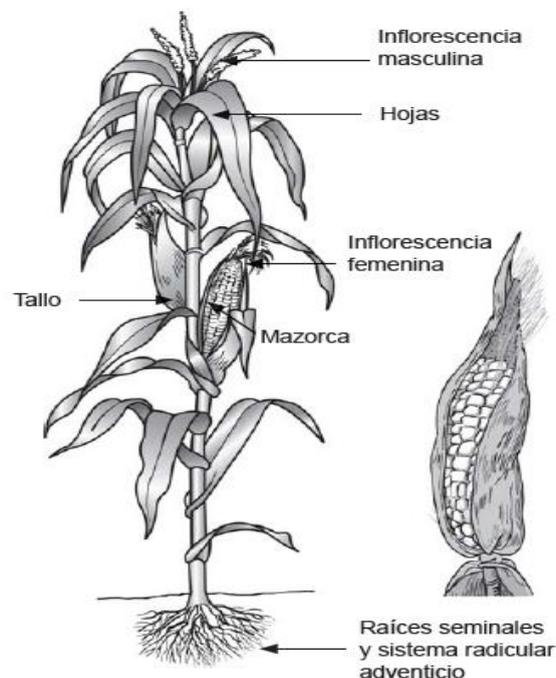
El maíz es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia de las *Poáceas*, de la tribu *Maydeas*, las especies del género *Tripsacum* son formas salvajes parientes del maíz, también con origen americano, pero sin valor económico directo (PALIWAL, 2001 a).

Al principio, los taxónomos clasificaron los géneros *Zea* y *Euchlaena*, como dos géneros separados, sin embargo, debido al estudio realizado por Reeves y Mangelsdorf en 1942 se los considera como un único género, basándose en la compatibilidad entre esos grupos de plantas y los estudios citogenéticos. En general, solo *Zea mays* se considera como una especie de gran importancia económica dentro de las *Maydeas* (PALIWAL, 2001a). Su clasificación taxonómica está bien estudiada (GBIF, 2013).

- Reino: *Plantae*
- División: *Magnoliophyta Cronquist*
- Clase: *Liliopsida*
- Orden: *Poales*
- Familia: *Poaceae*
- Género: *Zea Linnaeus*

2.6. Morfología de la planta

- **Raíces:** fasciculadas, aportan un perfecto anclaje a la planta, sobresalen nudos de las raíces a nivel del suelo y suele ocurrir en aquellas raíces secundarias o adventicias.
- **Tallo:** simple erecto, robusto y sin ramificaciones. No presenta entrenudos y si una medula esponjosa, pudiendo alcanzar 4 m.
- **Flores:** monoica con inflorescencia masculina (panícula) y femenina (espádice) dentro de la misma planta.
- **Hojas:** largas, lanceoladas, alternas, paralelinervias. El haz presenta vellosidades y los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes.
- **Fruto:** compuesto por una determinada cantidad de granos (cariósipide), el cual recibe el nombre de mazorca.
- **Semilla:** llamada cariósipide, esta insertado en el raquis cilíndrico u olote; la cantidad de granos determina el fruto.

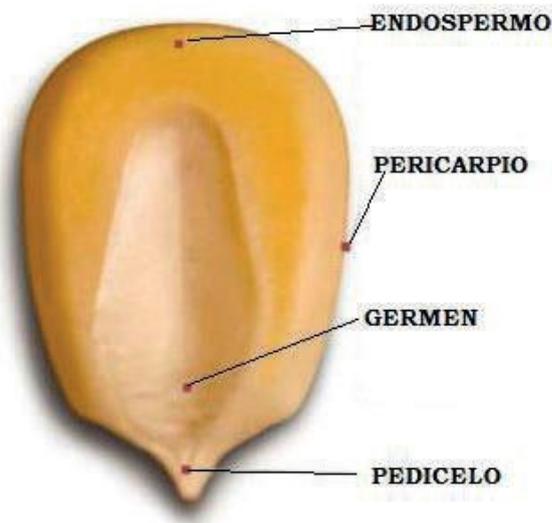


Fuente: Manual del maíz, 2022.

Figura 2. Estructura de una planta de maíz.

2.7. La semilla y sus partes

La semilla de maíz está contenida dentro de un fruto denominado cariósido; la capa externa que rodea este fruto corresponde al pericarpio, estructura que se sitúa por sobre la testa de la semilla. Esta última está conformada internamente por el endospermo y el embrión, el cual a su vez está constituido por la coleoriza, la radícula, la plúmula u hojas embrionarias, el coleóptilo y el escutelo o cotiledón. Las semillas pueden ser almacenadas en condiciones óptimas por 4 años sin disminuir la germinación, observándose una rápida disminución de la misma después de 6 años de almacenamiento (Manual del maíz, 2022).



Fuente: Manual del maíz, 2022.

Figura 3. Partes externas de un grano de maíz.

a) Pericarpio: Constituye la parte externa del grano, siendo el 5-6% del total del peso del grano; es resistente al agua. No es un alimento deseado por los insectos y los microorganismos. La función de esta capa es proteger a la semilla, limitando o impidiendo la entrada de hongos o bacterias. Está dividido en cuatro capas delgadas.

1. **Epicarpio.** Capa externa que cubre el grano; está conformado por células de paredes gruesas.
2. **Mesocarpio.** Capas constituidas por pocas células, las capas son medianamente gruesas.

3. **Células cruzadas.** Son capas de células con paredes delgadas con muchos espacios intercelulares.
4. **Células tubulares.** Son capas de células largas.
5. **Endospermo harinoso.** Se localiza en la parte central del grano.

b) Endospermo: En la mayoría de las variedades del maíz representa aproximadamente el 80-82% del total del peso del grano seco y es la fuente de almidón y proteína para la semilla que va a germinar. El almidón es usado en comidas (como combustible fundamental) para preparar edulcorantes, bioplásticos y otros productos.

El endospermo está compuesto por tres tipos de células que se divide en:

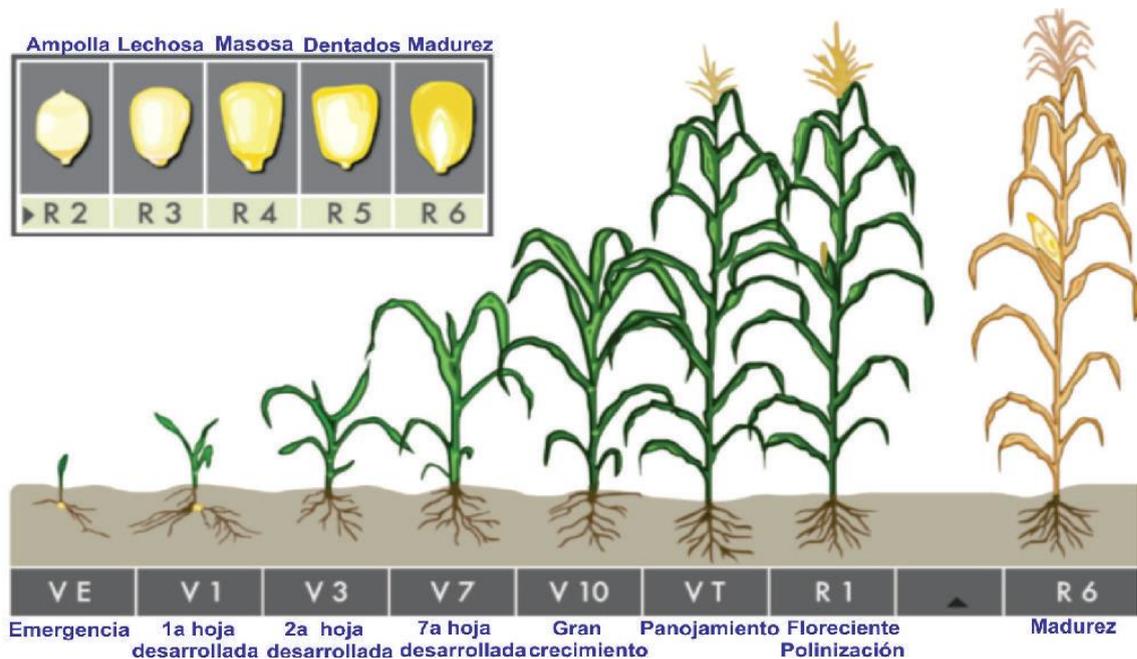
- **Capa aleurona.** Formado por una célula, contiene aceites, vitaminas y minerales.
- **Endospermo corneo.** Formados por células alargadas e irregulares

c) Embrión: Llamado también germen, representa entre 8 a 12 % del peso total del grano, el embrión es la única parte viviente del grano del maíz. En el germen esta la información genética imprescindible, enzimas vitaminas y minerales esenciales para el crecimiento del maíz que habría de transformarse en planta. Alrededor del 25% del germen es aceite del maíz, la parte más valiosa del grano. Este aceite es de sabor suave y rico en grasas insaturadas (Manual del maíz, 2022).

2.8. Etapas de crecimiento y desarrollo de la planta de maíz

La etapa VE (**emergencia**) llega cuando el coleóptilo brota de la superficie del suelo. Las plantas de maíz pueden emerger dentro de los 5-7 días siguientes a la siembra en condiciones de temperatura y humedad ideales. Pero bajo condiciones frías y húmedas o incluso bajo condiciones muy secas pueden tomar más de dos semanas para emerger.

Se entiende por germinación a la serie de procesos que incluyen desde la imbibición o absorción de agua por parte de la semilla, hasta emergencia de la radícula. El proceso de germinación se desencadena como consecuencia de la absorción de agua a través de la cubierta de la semilla, a dicha etapa se le da el nombre de imbibición, durante la cual la semilla absorbe un 30 % de su peso seco en agua antes de comenzar a germinar. Las principales causas de disminución de la germinación son el daño por heladas (baja temperatura y alta humedad), la infección con organismos patógenos de suelo y las malas condiciones de almacenamiento.



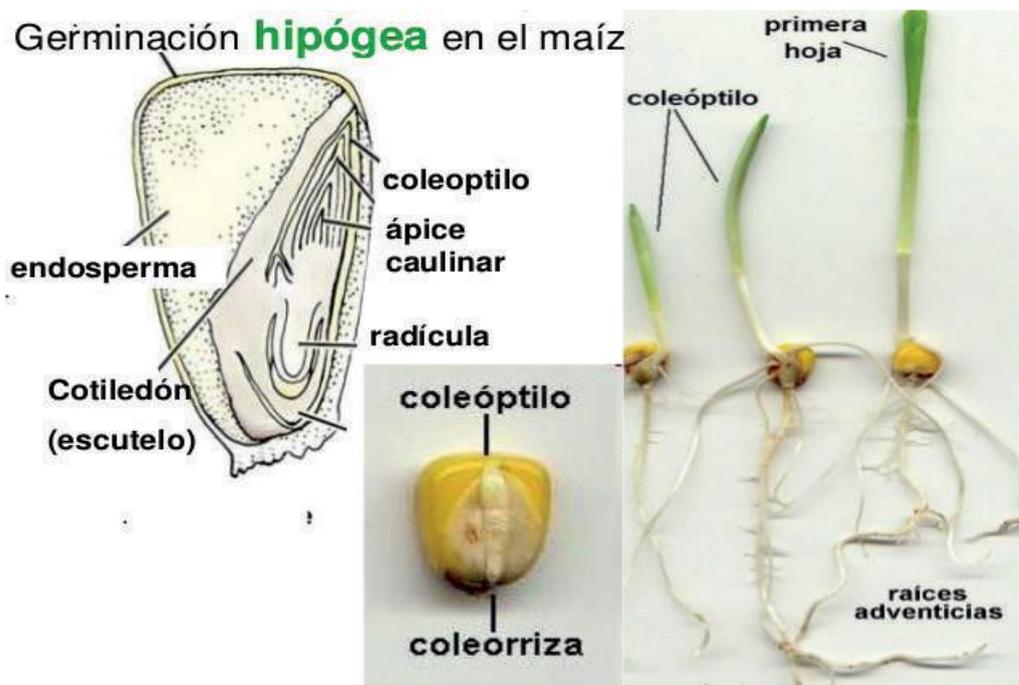
Fuente: Manual del maíz, 2022.

Figura 4. Fases vegetativas de la planta del maíz

Indicadores visuales de la germinación

Emergencia de la radícula. Este fenómeno tarda de 2 a 3 días en lugares cálidos y con una adecuada humedad, pero puede también tardar hasta una o dos semanas cuando se tienen suelos secos y/o más frescos (< a 10 °C).

Emergencia del coleóptilo. Puede ocurrir en uno o varios días dependiendo de la temperatura del suelo, esta estructura vegetal rígida es la encargada de abrir paso a través del suelo para la emergencia de la planta, debido a la elongación del mesocotilo (Manual del maíz, 2022).



Fuente. Manual del maíz, 2022.

Figura 5. Germinación, emergencia del coleóptilo.

2.9. Principales plagas y enfermedades

Desde el momento de la siembra, el maíz está expuesto a los ataques de numerosas plagas, y entre los factores principales que favorecen o dificultan la aparición de plagas y enfermedades en el cultivo están: condiciones de clima, labores preparatorias del terreno, rotación de cultivos y el control de malas hierbas, entre otros. Generalmente las enfermedades foliares se presentan después del período de fructificación (elote); sin embargo, cuando se presentan en periodos previos a esta fase, podrían representar una disminución en el rendimiento (IICA-CENTA, 2020).

- **Gallina ciega** (*Phyllophaga* spp). Se alimentan de las raíces y base del tallo por lo que causan la marchitez y muerte de la planta.
- **Gusano de alambre** (*Metanotus* sp *Aeolus* sp). Se alimentan de las raíces y base del tallo por lo que causan la marchitez y muerte de la planta.
- **Gusano cogollero** (*Spodoptera frugiperda*). Es una plaga universal de gran importancia económica que, dependiendo de algunos factores como la edad de la planta, estadio de plaga, condición del clima, así es la severidad del ataque. Cuando el clima es caliente y seco, las larvas completamente desarrolladas, que han caído al suelo antes de convertirse en pupas, empiezan a alimentarse en la base de la planta, cercenando el tallo tierno. En períodos de sequía su presencia y acción puede ser fatal.
- **Picudo del maíz** (*Sitophilus zea mays*). Estos insectos son ampliamente conocidos por los daños que ocasionan a los granos almacenados. El picudo del maíz, ocasionalmente, inicia su infestación en el campo y, cuando llega el maíz al almacenado se reproduce rápidamente.
- **Barrenador de los granos** (*Prostephanus truncatus*). Este insecto es similar en apariencia y hábitos al barrenillo de los granos, con la diferencia que es un poco más grande; comienza su ataque en el campo poco antes de la cosecha y cuando la larva emerge empieza a devorar el grano en su proceso alimenticio.

- **Palomilla de la harina** (*Plodia interpunctella*). Esta palomilla es una de las más comunes y perjudiciales a los granos y productos almacenados. El material infestado se cubre con las masas de seda que segrega la larva y por sus excrementos que quedan adheridos a los granos y harinas. Principalmente consumen el embrión o germen del grano. Esta plaga se reproduce con facilidad en el maíz en mazorca y en trojas (IICA-CENTA,2020).

Enfermedades

- **Mancha foliar por Curvularia** (*Curvularia lunata*). Enfermedad causada por hongos, los cuales producen manchas pequeñas necróticas o cloróticas con una aureola de color claro. La enfermedad está generalizada en las zonas maiceras, cálidas y húmedas, donde puede causar daños considerables a los cultivos.
- **Tizón foliar** (*Helminthosporium turcicum*). Es un hongo que se encuentra distribuido en todo el mundo, y uno de los primeros síntomas consiste en la aparición de manchas pequeñas ligeramente ovaladas y acuosas que se producen en las hojas, las cuales son fácilmente reconocibles. Estas manchas se vuelven tejidos necróticos alargados con puntos negros, que son las esporas del hongo. Cuando la infección se produce antes o durante la aparición de los estigmas, y si las condiciones son favorables, puede ocasionar daños económicos considerables.
- **Achaparramiento del maíz** (*Mycoplasma helicoideal* o *Spiroplasma*). Es una enfermedad transmitida por la chicharrita del maíz (*Dalbulus maydis*), cuyo síntoma se manifiesta, como su nombre lo indica, por el enanismo o achaparramiento de la planta, debido al acortamiento de los entrenudos, ramificación excesiva de las raíces, proliferación de mazorcas estériles lo que reduce la producción y en casos severos, la planta muere. Se recomienda sembrar híbridos resistentes a la enfermedad (IICA-CENTA,2020).

- **Complejo mancha de asfalto** (*Phyllachora maydis* y *Monographella maydis*). Esta enfermedad se presenta en zonas relativamente frescas y húmedas de los trópicos. Se producen manchas brillantes y ligeramente abultadas, de color negro posteriormente se desarrollan áreas necróticas en el tejido foliar. Las lesiones necróticas pueden llegar a fusionarse y provocar la quemadura completa del follaje. Las lesiones que producen los dos patógenos que causan el complejo comienzan a desarrollarse en las hojas inferiores antes de la floración y, si el ambiente es propicio, la infección continúa hacia arriba afectando incluso las hojas más jóvenes. Las mazorcas de las plantas afectadas son muy livianas y tienen granos flojos que no alcanzan a compactarse (CIMMYT, 2004).

2.10. Razas de maíces pigmentados

La diversidad del maíz (*Zea mays* L.) en México se ha clasificado al menos en 59 razas, con base en caracteres morfológicos y polimorfismos de isoenzimas (Sánchez *et al.*, 2000), más algunas variantes con marcadores moleculares como micro satélites. Como variantes dentro de razas se tienen tipos por coloración de grano; tal color se determina por la frecuencia de pigmentos como carotenoides en los granos amarillos (Egesel *et al.*, 2003), antocianinas y flobafenos en los azules o rojos (Irani *et al.*, 2003).

En los estados de Chiapas, Oaxaca y el Estado de México, están las razas de maíces pigmentados: Olotillo, Tehua, Olotón, Tepecintle, Vandeño, Zapalote Chico y Grande, Bolita, Cónico, Mushito y Tuxpeño (Salinas-Moreno *et al.*, 2012a, 2013), pero no hay estadísticas sobre su producción. La diversidad de maíces pigmentados y por lo tanto su diversidad de usos, se puede observar en sus propiedades físicas, las cuales son importantes para elegir el uso de los maíces pigmentados y las características de textura y sabor de los productos elaborados con ellos.

2.11. Características para mejoramiento del maíz en parcelas del agricultor.

Los caracteres que se desean tener en los maíces criollos difieren de una región a otra, de un maíz nativo a otro, de un agricultor a otro, del grado de mecanización y del destino de la producción, pero con frecuencia son:

Caracteres deseables en las plantas:

1. Tallo en estado verde más resistente y menos alto que la mayoría y buena raíz para que no se caigan por efecto del viento.
2. Plantas en que coincidan su floración masculina (cuando sus panojas sueltan el “polvito”) con la femenina (presencia de “pelitos en el jilote”), esto contribuye a buen rendimiento de grano y es indicador de resistencia a alguna sequía que se presente.
3. Plantas que presenten dos mazorcas o más cada una en diferente axila de la hoja.
4. Hojas de la mazorca suaves adecuadas para usarse como envoltura de la mazorca.

Caracteres indeseables en planta:

1. Plantas con hijuelos improductivos.
2. Plantas que no produzcan mazorca (“jorras”).
3. Presencia de manchas en hojas o tallo por enfermedades del follaje.
4. Tallos quebradizos cerca de la cosecha.
5. Follaje seco áspero no apetecible por el ganado.

Caracteres deseables en mazorca:

1. Mazorcas grandes, bien formadas, con granos cubriendo todo el olote, sin pudrición.
2. Mazorcas con buenas características del grano conforme al uso que se le vaya a dar.
3. Fáciles de desgranar a mano.

Caracteres indeseables en las mazorcas:

1. Mazorcas fuera de tipo, por color o textura, consecuencia de las cruizas con otros maíces nativos o mezclas de semilla.
2. Mazorcas mal formadas por diversas causas, entre ellas que estén ramificadas.
3. Mazorcas mal cubiertas por el “totomoxtle”.

Conviene saber que mientras más caracteres incluyamos en la selección los avances en cada uno serán más lentos. Una cosa que se puede hacer en los primeros ciclos es seleccionar con mayor énfasis para resolver los problemas más graves detectados, por ejemplo, contra las plantas caídas y mazorcas fuera de tipo, efectuando también selección por mazorca grande pero que reúnan primero las otras características señaladas. Cuando ya se hayan logrado los avances importantes en los caracteres de planta señalados, se puede concentrar uno principalmente en seleccionar mazorcas grandes (Ortega y Cuevas, 2018).

2.12. Primera etapa de la selección visual

- **Determinación del tamaño del lote de selección.** Dependerá de la cantidad de semilla que requiere el agricultor para la siguiente siembra, la superficie mínima recomendada para la selección es de media hectárea dentro de un lote de siembra mayor, para dejar bordos de al menos cuatro metros y surcos en las orillas de la parcela.
- **Aislamiento del lote de selección.** Es conveniente que la parcela donde se hará la selección este aislada de otros maíces al menos 200 metros o por época de floración (al menos un mes). En caso de no ser posible, dejar en la parcela de selección un borde de más 10 metros sin seleccionar, para separarlo de otro maíz. Con ello se evita “contaminación” de polen de otros maíces al de la parcela de selección. Se recomienda sembrar una planta por mata para observar mejor las características de cada planta.

- **Desespigue de plantas indeseables antes de que florezcan.** Con base en las características deseables e indeseables a seleccionar, determinadas por el agricultor, el proceso de selección se puede iniciar desde que algunas plantas de maíz empiecen a soltar el polen (“polvito”) conviene empezar a recorrer el lote de selección y las orillas de cada tercer día temprano y “capar” (o sea cortar las panojas) a las plantas indeseables, por ejemplo, que estén caídas, sean demasiado altas o tengan otros defectos notables, pero hay que tener cuidado de no arrancar la espiga con hojas o capar más de la cuarta parte de las plantas para no bajar el rendimiento de la parcela.
- **Selección de plantas deseables cuando el grano está en estado “lechoso-masoso”.** La unidad de selección son las plantas con competencia completa presentes en cada tramo compuesto por dos surcos o hileras de diez metros de longitud. En cada tramo, el agricultor seleccionará y marcará con una banda de plástico o de trapo aproximadamente el 10% de las plantas con las características deseadas; esto se hará en las plantas tanto en las partes buenas del terreno como en las malas. En estas últimas habrá plantas y mazorcas no tan buenas como en las partes con buen terreno, pero esa diferencia se deberá a efectos de la fertilidad del suelo, de falta de agua, etcétera, y no a los genes de la planta, que es lo que se quiere seleccionar porque es lo que se hereda y se requiere que se presente en el ciclo de siembra siguiente.
- **Selección en mazorca.** Uno a varios días antes de la cosecha, se “pizcan” las mazorcas de las plantas marcadas, dejando por separado las de cada lotecito de dos surcos de ocho o diez metros de largo. Luego se escoge solamente la mitad del total de mazorcas de cada lotecito; las que reúnan las características deseadas. Las mazorcas seleccionadas se depositan en costales marcados, ya que de ellas se obtendrá la semilla para la siembra siguiente.

- **Desgrane de las mazorcas y cuidado de la semilla.** Secar las mazorcas al sol o en un local con techo, pero con amplia circulación de aire. Se sugiere usar solo como semilla los granos de la parte central de la mazorca para lograr mayor uniformidad del tamaño de ella. Desgranar a mano, procurando no descabezar los granos.

Mezclar la semilla de las mazorcas seleccionadas y sembrarlas el ciclo siguiente para repetir la selección como se hizo la primera vez. Esta se puede hacer tres o más veces para ver resultados notorios (Ortega y Cuevas, 2018).

2.13. Segunda etapa de selección

Una vez que se han realizado al menos tres ciclos de selección masal visual. Se puede llevar a cabo el método de selección en la semilla, denominado: “mazorca por surco”. Para ello se siguen los pasos siguientes:

1. Desgranar por separado cada mazorca de las 200 a 400 plantas seleccionadas; introducir la semilla obtenida de cada una en un sobre identificado por un número; los sobres se conservan en un recipiente y lugar cerrado, donde no haya humedad, previamente se les aplica algún agroquímico o sustancia de uso popular contra plagas y enfermedades de granos almacenados.
2. En el siguiente ciclo agrícola, sembrar parte de la semilla (no más de la mitad) de cada sobre (mazorca) en una parcela de dos surcos de cinco metros o un surco de 10 metros, sembrando semilla de la variedad criolla original sin selección de cada diez parcelas (parcela testigo). El orden de la siembra puede ser orden progresivo en que se numeraron los sobres, para facilitar tomar datos. Con respecto a la semilla remanente, se guarda en su respectivo sobre y lugar en que estaban antes.

3. Evaluar (observar) el conjunto de las plantas de cada parcela cuando están en floración, estado lechoso-masoso del grano y en la cosecha, con respecto a las parcelas testigo entre las que estén esas parcelas. El resultado de las evaluaciones se debe a notar en una libreta, procurando resaltar las parcelas candidatas a ser seleccionadas al final. Cada vez que se haga un recorrido de observación, se recomienda ir marcando las parcelas que se van desechando, colocando junto a la etiqueta del número de parcela una cinta de plástico o tela de color vistoso, esto para prestar menos atención a dichas parcelas en el siguiente recorrido.
4. Una vez que se tienen los datos de planta y mazorca anotados en la libreta, se selecciona y anota el 20% de las mejores parcelas. Se pizcan las mazorcas de todas las parcelas, se desgrana, se revuelven los granos y se usa para consumo humano o animal.
5. De cada sobre con la semilla remanente, se toma la misma cantidad de cada una de las parcelas seleccionadas, para formar lo que se llama: compuesto balanceado.
6. En el ciclo o año siguiente se siembra un lote “aislado” (separado al menos 200 metros de otras siembras de maíz) con semilla del compuesto balanceado, para que se efectúe de manera natural una recombinación de los genes que se eligieron en las plantas de cada parcela.
7. El grano que se obtenga de la cosecha del lote de recombinación, será el primer ciclo del mejoramiento combinado de las Etapas 1 y 2; este se sembrara si se quiere para iniciar un nuevo ciclo con lo anotado en la Etapa 1 o se siembra como lote comercial para incrementar la semilla y usarse después en varias hectáreas en las que se espera obtener un mayor rendimiento y mejores características que las del maíz en el que se inició el mejoramiento (Ortega y Cuevas, 2018).

2.14. Mejoramiento participativo de maíces criollos

Por Mejoramiento Participativo, se entiende la estrategia de fitomejoramiento en la cual los miembros de la cadena productiva (fitomejoradores, técnicos, agricultores y otros) trabajan juntos en el proceso de desarrollo de las variedades. Al contrario del fitomejoramiento convencional, el FMP es descentralizado y participativo (Cecarelli *et al.*, 2001).

El objetivo de las actividades de Fitomejoramiento Participativo en maíz, consiste en contribuir con el desarrollo de la capacidad de los agricultores para la conservación y mejoramiento genético de maíces criollos *in situ*, mediante la aplicación de metodologías para el fitomejoramiento participativo y la generación de variedades mejoradas más adecuadas a sus sistemas de producción y entornos socioeconómicos. Adicionalmente, se pretende incrementar los conocimientos, destrezas y habilidades de los productores y el fortalecimiento del liderazgo individual y el de sus organizaciones en sus comunidades (Gallardo *etal.*, 2006).

El Mejoramiento Participativo alcanza objetivos mucho más amplios que el mejoramiento genético. Según Toledo Machado *et al.*, 2008; Morris y Bellon (2004), se observa una ganancia en productividad; conservación y promoción de la biodiversidad y de la variabilidad genética; obtención y uso de germoplasma adaptado a condiciones locales; selección intra-poblacional; evaluación o selección participativa de variedades; lanzamiento y difusión de nuevo germoplasma; la diversificación de los sistemas de cultivos y la producción y promoción de semillas. Considerado una estrategia de conservación de la agrobiodiversidad, con la propuesta de fitomejoramiento participativo se mantienen muchas de las características de rusticidad y adaptación de las semillas locales. Estas semillas son el producto de la presión de selección realizada por las comunidades tradicionales a lo largo del tiempo, las que conducen el proceso de selección de acuerdo con sus necesidades y preferencias (Cecarelli *et al.*, 2009).

2.15. Caracterización varietal en mazorcas de maíz

- ❖ **Longitud del pedúnculo:** Es la distancia (cm) comprendida desde el nudo de inserción en el tallo, hasta a base de la mazorca superior.
- ❖ **Longitud:** Es la distancia (cm) comprendida desde la base al ápice de la mazorca.
- ❖ **Diámetro:** Se mide (cm) en la parte media de la mazorca superior.
- ❖ **Forma:** La observación se realiza en la mazorca superior.
- ❖ **Arreglo de hileras de granos:** La observación se realiza en la mazorca superior.
- ❖ **Número de hileras de granos:** Es el número de hileras de granos en la parte media de la mazorca superior.
- ❖ **Número de granos por hilera:** Es el número de granos por hilera de la mazorca superior, desde la base al ápice.
- ❖ **Tipo de grano:** La observación se realiza en tercio central de la mazorca superior.
- ❖ **Forma de la corona del grano:** La observación se realiza en el tercio central de la mazorca superior.
- ❖ **Color de grano:** La observación se refiere a la apariencia externa de la mazorca superior.
- ❖ **Color dorsal del grano:** El color se observa en el lado opuesto a la posición del embrión, en la parte media de la mazorca superior.
- ❖ **Color del endospermo del grano:** Se realiza un corte transversal del grano para esta observación.
- ❖ **Coloración por antocianinas en las glumas del olote:** La observación se realiza en el olote de la mazorca superior.
- ❖ **Intensidad de la coloración por antocianinas en las glumas del olote:** La observación se realiza en el olote de la mazorca superior.

2.16. Variedad mejorada de maíz morado

El Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) puso a disposición de los maiceros de la sierra norte de Perú, una variedad de polinización abierta que considera tres características: color, rendimiento y adaptación. INIA 601 (INIA NEGRO) se originó en 1990 en la sub-estación experimental Cajabamba. El mejoramiento se realizó mediante selección recurrente de medios hermanos, incidiendo fundamentalmente en el color morado intenso de olote y grano, precocidad, prolificidad mayor a 1.5, rendimiento, buen tipo de planta y sanidad de mazorca (INIA, 2014).

Principales características agronómicas de la variedad

- | | |
|---|--|
| 1. Altura de planta: 2.16m | 2. Longitud de mazorca: 17.5cm |
| 3. Altura de mazorca: 1.24m | 4. Diámetro de mazorca: 4.6cm |
| 5. Días a floración femenina: 98 | 6. Numero de hileras: 10 a 12 |
| 7. Días a la madurez: 170 | 8. Numero de granos por hilera: 26 |
| 9. Unidades de calor a la floración:
875.7 ± 8.1° Cd | 10. Consistencia de grano: Harinosa |
| 11. Hojas normales: Lanceoladas | 12. Longitud del grano: 13mm |
| 13. No. de hojas por plantas: 12 | 14. Ancho del grano: 11mm |
| 15. No. de mazorcas por planta: 1 a 2 | 16. Espesor del grano: 5mm |
| 17. Forma de mazorca: Ligeramente
cónica | 18. Porcentaje de desgrane: 78% |
| 19. Color de mazorca: Morado intenso | 20. Peso de 1000 semillas: 456.2g |
| 21. Color de olote: Morado | 22. Potencial de rendimiento: 6.0 t/ha |

2.17. Calidad nutricional de maíces pigmentados

El maíz azul ofrece algunas características nutricionales muy interesantes destacando: una menor cantidad de almidón, un índice glucémico inferior menor al

maíz normal (interesante para personas diabéticas), y una carga proteica superior en un 20 % al del maíz blanco (Méndez *et al.*, 2005). Las diferentes partes del maíz también difieren en su composición. El pericarpio tiene un alto contenido en fibra, mientras que el endospermo es rico en almidón. El germen contiene la mayoría de las proteínas, grasas, azúcares y cenizas (Agama, 2011). El color azul se encuentra en la capa de células llamada aleurona, donde una mayor concentración de pigmentos antocianicos hacen que los granos parezcan negros (Betran *et al.*, 2001).

Sin duda, el proceso de Nixtamalización para la elaboración de la masa para tortillas y tamales es uno de los grandes logros de las culturas mesoamericanas, al favorecer la biodisposición del calcio, aminoácidos y el niacina (Iltis, 2000; Vargas, 2007). Las antocianinas son compuestos fenólicos del grupo de flavonoides (Escribano-Bailón *et al.*, 2004) y en su fórmula hay dos anillos aromáticos unidos por una estructura de tres carbonos. Además, el maíz azul contiene flavonoides, que actualmente se utilizan como fuente de antioxidantes (Dickerson, 1990).

Carbohidratos: Los azúcares constituyen aproximadamente el 2% del peso total del grano y cerca del 65% de los azúcares del grano se encuentran en el germen. Contiene fructosa, glucosa, sacarosa, maltosa, rafinosa y algunos oligosacáridos. Los carbohidratos complejos representan alrededor del 80 % del peso total del grano (Boyer y Shannon, 2001).

Proteínas: Las proteínas son las macromoléculas más importantes desde el punto de vista nutricional. Representan aproximadamente el 10 % del grano. El maíz azul contiene albuminas, globulinas, glutelinas y prolaminas (Badui, 2006).

Lípidos: Los lípidos representan el 5% del maíz azul. Se encuentran en mayor proporción con el germen, conteniendo el 84% de los lípidos del grano y el 16% restante se encuentra en el endospermo. La mayoría de los lípidos son triglicéridos y se componen por los ácidos linoleico (50%), oleico (35%), palmítico

(13%), esteárico (4%) y linolenico (3%). Además, los lípidos del maíz azul son muy estables, porque contienen altos niveles de antioxidantes naturales (Boyer y Shannon, 2001).

Fibra: La fibra dietética está presente en el maíz azul como en todas las variedades de maíz. Se encuentra mayoritariamente en el pericarpio y en las paredes celulares del endospermo. Ciertos factores como la genética, clima y altura afectan el contenido de fibra (Dickerson, 2008).

Vitaminas: El maíz azul posee vitaminas hidrosolubles y liposolubles. El grano contiene dos vitaminas liposolubles en concentraciones importantes: la vitamina A con 2.5 mg/kg y la vitamina E con 36 mg/kg. Además, están presentes en menor proporción la vitamina B1, piridoxina, niacina y vitamina C en concentraciones muy bajas. En la aleurona, germen y endospermo están las proteínas hidrosolubles. Se han encontrado cantidades variables de tiamina y riboflavina (Dickerson, 2008).

Minerales: Los minerales se encuentran mayoritariamente en el germen del maíz azul. El fósforo es el más abundante y representa el 0.1 % del grano integral. El calcio es el mineral más importante del maíz azul, ya que es fundamental en el consumo humano. El contenido de calcio puede variar del 0.01 % al 0.1 % del peso seco del grano. Además, posee cantidades considerables de potasio y magnesio (Dickerson, 2008).

Propiedades antioxidantes: Estudios médicos han demostrado que pacientes con artero-esclerosis presentan contenidos bajos de antioxidantes al compararlos con individuos sanos (Durak *et al.*, 2001). Ching *et al.* (2002) encontraron que, al incrementar los niveles de antioxidantes en la sangre, los

riesgos de presentar cáncer de mama se ven disminuidos.

Joseph et *al.* (2003) encontraron que el consumo de suplementos antioxidantes revierte los efectos degenerativos del envejecimiento. Una gran variedad de fitoquímicos son responsables de estos beneficios del maíz azul, entre ellos los compuestos fenólicos.

Compuestos fenólicos: Los fenoles son compuestos que poseen anillos aromáticos, con grupos sustituyentes hidroxilo, éster, glucósido, etc. Son metabolitos secundarios que contribuyen al aroma y al sabor de los alimentos. Son esenciales para el crecimiento y la reproducción del maíz, otorgan resistencia al estrés ocasionado por condiciones ambientales, así como a los daños por plagas (Su y Chichn, 2007).

Antocianinas: Las antocianinas tienen un sustituyente hidroxilo glicosilado, el cual les da estabilidad y solubilidad. Dependiendo de los otros sustituyentes se obtendrán diferentes colores. La variedad de antocianinas depende del número de grupos hidroxilo, azúcares, grupos alifáticos y ácidos aromáticos unidos a la estructura básica de las antocianinas. Los carbohidratos comúnmente unidos a las antocianinas son glucosa, galactosa, xilosa, arabinosa y ramnosa. Las diferencias en el perfil de antocianinas del maíz; ocasionan una diferencia enorme en el color y pigmentación de las diferentes variedades. Ésta variación se define en colores que van desde el rojo, pasando por el morado hasta el casi negro (De la Parra, 2008). Wang y Mazza (2002) han demostrado que vegetales ricos en antocianinas evidencian una alta actividad antioxidante contra el peróxido de hidrógeno y contra radicales peróxidos, superóxido, hidroxilo y oxígeno singulete.

2.18. Valor agregado

En México, el consumo promedio diario de maíz es 335 g, lo cual equivale a 122 kg año (FAO, 2012), y es en forma de tortillas, gorditas, pinoles, atoles,

tostadas, botanas, tamales, elotes y muchos otros. El maíz también se usa en varias industrias como la textil, cosméticos y alimentaria (Rooney y Serna-Saldivar, 2003), por lo cual su importancia económica es mundial. En los países industrializados, el maíz se utiliza principalmente como forraje, materia prima para la producción de alimentos procesados y, recientemente, para la producción de etanol. Por el contrario, en algunos países de América Latina y, cada vez más en países africanos, un gran porcentaje del maíz que se produce o importa se destina al consumo humano. En este sentido, el maíz ha sido y sigue siendo un factor de sobrevivencia para los campesinos e indígenas que habitan en la mayoría de los países del continente americano (Serratos, 2009).

El maíz contribuye con el 18% de la energía requerida al día. Es un alimento nutracéutico, es decir, que además de nutrir es benéfico para la salud e incluso previene algunas enfermedades. Por sus vitaminas, minerales y propiedades antioxidantes, ayuda al funcionamiento del sistema nervioso, al desarrollo del cerebro y puede prevenir el Alzheimer. En México, la conservación de las razas nativas del maíz al interior de las parcelas de cultivo de los propios agricultores, tiene un valor económico especial como base de la reproducción del cultivo (Nadal y Wise, 2004).

Actualmente, la industria utiliza el maíz como forraje en la alimentación de grandes hatos, y en la obtención de compuestos químicos que son comercializados en alimentos, medicinas y cosméticos: miel de maíz, azúcar de maíz, dextrosa, almidón o fécula, aceite, color caramelo, dextrina, malto dextrina, ácido láctico, sorbitol, y etanol. Por otro lado, se le considera un recurso energético renovable, ya que de él se obtiene el etanol, un alcohol derivado de la fermentación del almidón del maíz que se utiliza principalmente como combustible de automóviles y camiones (Esteva, 2003).

2.19. Análisis multivariado

El análisis multivariado reúne métodos estadísticos que se enfocan en observar y procesar simultáneamente diferentes variables estadísticas para obtener

información relevante. Las dos categorías principales de métodos de análisis estadísticos multivariantes son los denominados métodos descriptivos, por un lado, y los métodos explicativos por el otro.

2.19.1. ¿Cuál es el objetivo del análisis multivariado?

- Optimizar los datos o simplificar la estructura.
- Ordenar y agrupar.
- Investigar la relación de dependencia entre variables.
- Relación predictiva entre variables.
- Construcción y prueba de hipótesis

2.19.2. Tipos de análisis multivariado

- 1) Gráfico de matriz: El gráfico de matriz se utiliza para mostrar todos los pares de gráficos X-Y de un conjunto de variables cuantitativas. Es una excelente técnica para detectar pares de variables altamente correlacionadas, así como casos con valores atípicos.
- 2) Análisis de correlación: El proceso de análisis de correlación tiene como objetivo resumir dos o más columnas de datos numéricos. Calcula estadísticas resumidas para cada variable, así como la correlación y covarianza entre ambas.
- 3) Diagrama de araña: El diagrama de araña se utiliza para mostrar los valores de varias variables cuantitativas según la situación.
- 4) Análisis factorial: El análisis factorial produce una combinación lineal de múltiples variables cuantitativas, estas variables representan el mayor porcentaje de variación. Estos tipos de análisis son utilizados para reducir el alcance del problema con el fin de comprender mejor los factores que afectan estas variables.
- 5) Análisis de regresión logística: El análisis de regresión logística es una variante de regresión múltiple que permite predecir eventos y estudia la

influencia de dos tipos de variables entre sí: variables dependientes y variables no dependientes. La primera es una variable explicativa, mientras que la segunda es una variable no explicativa.

- 6) Análisis de conglomerados: El análisis de conglomerados o grupos se refiere a un algoritmo que agrupa objetos similares en grupos. El análisis de conglomerados es un conjunto de grupos, donde cada uno es diferente entre sí y los objetos de cada grupo son muy similares entre sí.
- 7) Análisis discriminante lineal: El análisis discriminante lineal fue diseñado para ayudar a distinguir dos o más conjuntos de datos basados en un conjunto de variables cuantitativas. Esto se logra estableciendo una función discriminante o combinación lineal de variables.
- 8) Análisis de correspondencias: Esta técnica proporciona una reducción de la dimensionalidad de la pendiente del objeto en un conjunto de atributos, generando así un mapa de percepción de la pendiente. Sin embargo, la variable independiente y la variable dependiente se verifican al mismo tiempo.
- 9) Escalado multidimensional: El escalado multidimensional es una técnica que crea un mapa que muestra las posiciones relativas de varios objetos, con solo una tabla de las distancias entre ellos. El mapa puede constar de una, dos, tres o incluso más dimensiones y calcula la solución métrica o no métrica.
- 10) Correlación canónica: La más flexible de las técnicas multivariadas es la correlación canónica, que asocia varias variables independientes y dependientes al mismo tiempo. Esta poderosa técnica utiliza variables de medición independientes como ventas, nivel de satisfacción y nivel de uso. También puede utilizar variables categóricas no métricas (Milagros García, 2021).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del sitio experimental

El presente trabajo de investigación se estableció durante el ciclo agrícola primavera-verano, 2019, en el Campo Experimental “El Bajío” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en Buenavista, Saltillo, Coahuila, el cual se encuentra ubicado a una latitud de 25° 21'33" N, longitud de 101°02'20" W y a una altitud de 1, 731 msnm (Google Earth, 2021). La temperatura promedio anual es de 18 a 22°C con un clima seco y semiseco.

3.2. Material genético

El germoplasma utilizado consistió de 19 genotipos de maíz criollo pigmentado (Cuadro 1) pertenecientes al Programa de Producción de Granos y Semillas del Centro de Capacitación y Desarrollo en Tecnología de Semillas (CCDTS) del Departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Cuadro 1. Genotipos de maíz pigmentado (*Zea mays* L.) evaluados en el ciclo P-V 2019 en el campo experimental de la UAAAN.

Número de identificación	Genotipos	Número de identificación	Genotipos
1	MM1	11	MM11
2	MM2	12	MM12
3	MM3	13	MM13
4	MM4	14	MM14
5	MM5	15	MM15
6	MM6	16	MM16
7	MM7	17	MM17
8	MM8	18	MM18
9	MM9	19	MM19
10	MM10		

MM= criollo pigmentado

3.3. Diseño experimental

El experimento se evaluó utilizando el diseño experimental de bloques completos al azar, este diseño es el más utilizado tanto por su flexibilidad, así como en su análisis estadístico (Condo y Pazmiño, 2015). Se establecieron 19 genotipos considerando tres repeticiones por tratamiento. El tamaño de la parcela fue de un surco de 3 m largo, con una distancia de 80 cm entre surcos y de 20 cm entre plantas.

3.4. Variables evaluadas

- **Altura de planta (AP):** Se utilizó un estadal y se midieron tres plantas al azar desde la base hasta la inserción de la hoja bandera reportándose en metros (m).
- **Altura de mazorca (AM):** Se midió desde la base de la planta hasta el nudo de la inserción de la mazorca y se expresó en metros (m).
- **Número de hilera por mazorca (NH):** Se contó el número de hileras de la parte media de la mazorca.
- **Número de granos por hilera (NGH):** Se inició el conteo de granos de la base de la mazorca hasta el último grano bien formado.
- **Longitud de mazorca (LM):** con la ayuda de una regla se obtuvo la longitud de la mazorca desde la base hasta el ápice de la mazorca, se expresó en (cm)
- **Diámetro de mazorca (DM):** Para determinar el diámetro se tomó de la parte media de la mazorca con ayuda de un vernier y se expresó en (mm).
- **Peso de mazorca al 10% de humedad (PM):** Se obtuvo con la siguiente fórmula, se expresó en gramos (g).

$$Y = (x (100 - P1) / (100 - P2)) * 1000$$

Dónde:

Y= peso de mazorca al 10% de humedad

x = peso de campo de mazorca por planta (kg)

P1= humedad obtenida

P2= humedad estándar (10%)

- **Peso de grano (PG):** Se aplicó la fórmula con la que se obtuvo el peso de mazorca y se expresó en (g).
- **Peso de olote (PO):** Se aplicó la fórmula con la que se obtuvo el peso de la mazorca y se expresó en (g).
- **Factor de desgrane (FD):** Es el peso del grano dividido entre el peso de olote más el peso de grano y se expresa en porcentaje (%).

FD= (peso de grano/ peso de olote + peso de grano) x 100.

3.5. Análisis estadísticos

Se utilizaron dos análisis multivariados para analizar los datos obtenidos de 19 poblaciones de maíz criollo, para los cuales se consideraron 10 variables de mazorca y planta, los datos se analizaron con el paquete estadístico Minitab 16 (2009).

Análisis de Conglomerado (AC): este análisis básicamente lo que realiza es una implementación del siguiente algoritmo:

1. Examina la matriz de datos original ($n \times p$) conformada por n poblaciones y p variables.
2. Estandariza la matriz de datos originales ($n \times p$) con la siguiente fórmula para transformar los datos a distribución normal con media 0 y varianza 1.

$$Z = \frac{(X - \bar{X})}{\sigma}$$

Donde:

Z = Es la observación transformada a unidades de desviación estándar.

X = Es el valor original a estandarizar.

\bar{X} = Es la media de la variable original.

σ = Es la desviación estándar de la variable original.

3. Estima la distancia euclidiana en base a la matriz de datos estandarizados para el par de poblaciones (i, j) con la siguiente fórmula.

$$E_{ij} = \left[\sum_{k=1}^p (X_{ik} - X_{jk})^2 \right]^{1/2}$$

Donde:

E_{ij} = es la distancia entre la población i y la población j .

x_{ik} = es el valor de la k -ésima variable sobre la i -ésima población.

Lo que da por resultado una matriz de distancias euclidiana en forma de matriz simétrica donde solo se escriben los elementos que están debajo de la diagonal principal.

4. Examina la matriz simétrica de distancias euclidianas y agrupa el par de poblaciones (i, j) que son más similares y las une en un nuevo grupo; utilizando el procedimiento jerárquico, donde una población colocada en un grupo no puede ser agrupada en un paso posterior.
5. Forma una nueva matriz simétrica de distancias euclidiana para reflejar la supresión del par de poblaciones, i y j , que fueron unidas, enlazando la nueva población correspondiente al nuevo grupo, hasta que las n poblaciones estén en un solo grupo, finalmente se obtiene el dendograma.

Análisis de Componentes Principales (ACP)

En este análisis se utiliza una matriz X de orden $(n \times p)$, de np observaciones correspondientes a los valores de p variables de cada una de n unidades de estudio (genotipo) y consiste en transformar un conjunto de variables x_1, x_2, \dots, x_p a un nuevo conjunto de variables y_1, y_2, \dots, y_p . Estas nuevas variables deben tener las siguientes propiedades (Johnson, 2000):

1. Es una combinación lineal de las x 's. Por ejemplo, para el primer componente. $Y_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1p}x_p = a_1'x$. Donde $x = [x_1 \ x_2 \dots \ x_p]$

es el vector de valores muestrales de las variables originales, y a_{ij} es el valor del j -ésimo elemento del vector característico a_1 asociado al valor característico más grande λ_1 .

2. En forma matricial para todos los componentes, $Y = XA$, en donde Y es la matriz de orden $n \times p$ de componentes principales; A es una matriz de orden $p \times p$ de vectores característicos y X es la matriz de orden $n \times p$ de observaciones.
3. La suma de cuadrados de los coeficientes a_{ij} para cada i ($j=1, 2, \dots, p$) es la unidad.
4. De todas las posibles combinaciones, Y_1 tiene la máxima varianza: $\text{Var}(Y_1) > \text{Var}(Y_2) > \dots > \text{Var}(Y_p)$.
5. Las Y no están correlacionadas, por lo que los componentes generados no están asociados entre sí.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de Conglomerados

Con este análisis se determinó la distancia euclidiana entre 19 poblaciones de maíz pigmentado como se muestra en el Cuadro 2. El corte de la gráfica se realizó en el paso 12 donde se forman siete conglomerados a una distancia euclidiana de 3.40 cuando el criollo 2 se enlaza con el 6 formando un grupo de cinco genotipos. En la Figura 6, se observa la formación de los grupos de mayor interés de los cuales los grupos G1 y G6 quedaron conformados por un solo genotipo en contraste con en el G5 el cual incluyó cinco genotipos de maíz pigmentado.

Cuadro 2. Valores de distancia euclidiana y pasos de enlace para 19 criollos de maíz pigmentado, método de enlace completo.

Paso	Número conglomerados	Nivel de distancia	Conglomerados incorporados		No. de poblaciones en el conglomerado
1	18	1.496	4	15	2
2	17	1.714	7	17	2
3	16	1.879	13	18	2
4	15	1.908	4	12	3
5	14	2.066	14	19	2
6	13	2.142	2	13	3
7	12	2.182	6	10	2
8	11	2.746	3	7	3
9	10	3.125	1	14	3
10	9	3.129	9	11	2
11	8	3.306	4	5	4
12	7	3.401	2	6	5
13	6	3.840	2	4	9
14	5	4.109	3	9	5
15	4	4.893	1	16	4
16	3	5.530	2	3	14
17	2	7.045	1	2	18
18	1	9.528	1	8	19

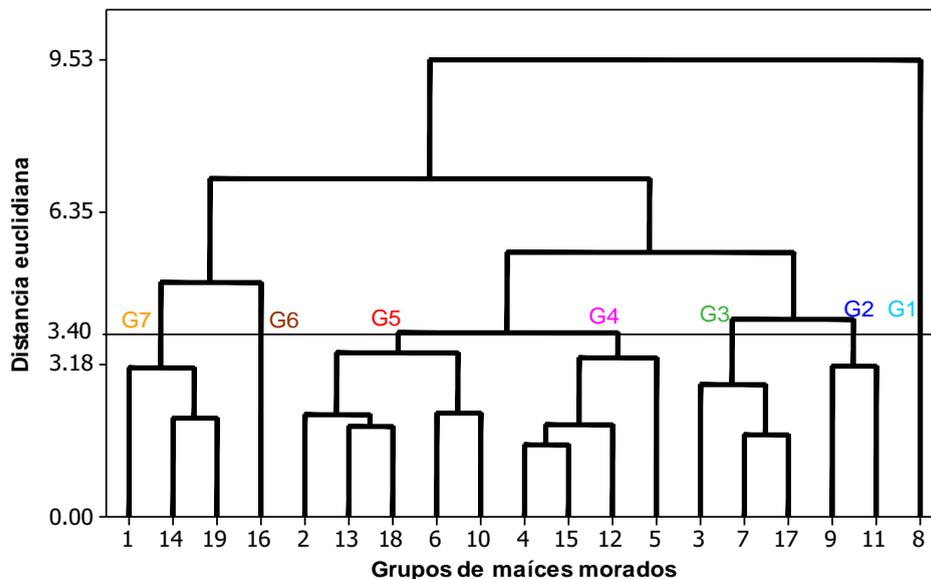


Figura 6. Agrupamiento de 19 criollos de maíz pigmentado evaluados en base a 10 caracteres de mazorca y planta.

En el Cuadro 3 se muestran las 10 variables evaluadas en base a los siete grupos de genotipos seleccionados en el dendograma obtenido en el análisis de conglomerados. Donde el G6 presentó el mayor PM (170.56 g) esto debido a su más alto promedio en las variables: NH, NGH y un alto FD. De igual manera el G7 formado por tres genotipos promedió un alto PM (156.19 g) en el cual influyeron las variables: NGH, LM, DM y FD.

Cuadro 3. Medias de siete grupos formados a un nivel de distancia euclidiana de 3.40 del análisis de conglomerados para 10 características evaluadas.

Grupos	Criollos	AP m	AM m	NH no	NGH no	LM cm	DM cm	PO g	PG g	FD %	PM g
G6	16	2.47	1.52	12.67	33.33	17.00	3.89	18.72	151.85	89.03	170.56
G7	1,14,19	2.56	1.52	11.33	32.67	17.02	4.75	20.28	135.91	87.01	156.19
G2	9,11	2.90	1.49	12.00	26.17	16.50	4.52	21.90	126.37	85.30	148.27
G5	2,6,10,13,18	2.62	1.35	11.13	30.53	15.63	4.40	18.52	115.55	86.15	134.07
G3	3,7,17	2.77	1.47	12.00	27.44	14.29	4.53	16.55	113.02	87.21	129.57
G4	4,5,12,15	2.74	1.45	10.58	27.67	14.50	4.23	14.90	107.55	87.80	122.44
G1	8	2.88	1.58	10.00	29.00	15.33	4.20	39.95	76.90	65.81	116.85

AP= altura de planta, AM= altura de mazorca, LM= longitud de mazorca, DM= diámetro de mazorca, NGH= número de granos por hilera, NH= número de hileras, PM= peso de mazorca, PG= peso de grano; PO= peso de olate, FD= factor de desgrane.

El G2 registró la mayor AP, además el tercer PM (148.27 g) más alto y un buen NH. Los grupos G5, G3 y G4 presentaron valores intermedios para algunas de las características evaluadas con respecto a todos los grupos estudiados. El G1 conformado por un solo genotipo promedió el más alto PO reflejando así el más bajo FD, consecuentemente el más bajo PM (116.85 g).

Análisis de Componentes Principales

En el Cuadro 4 se presentan los tres primeros componentes principales con los cuales se explica el 74.7 % de la variación total de los datos (proporción acumulada), los cuales presentaron valores propios mayores a la unidad, siendo los más relevantes debido a que aportan una explicación mayor de la variación total. Con los valores propios de los dos primeros componentes se explica el 61.6% de la variación total de los datos.

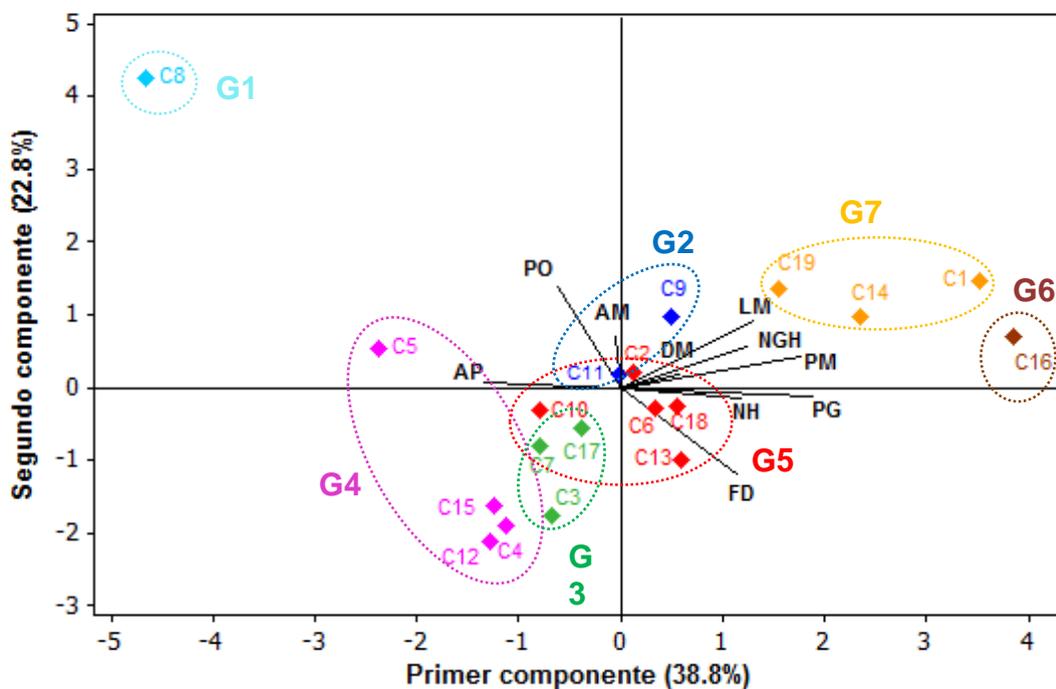
Cuadro 4. Valores y vectores propios para los tres primeros componentes principales de 10 variables evaluadas en 19 poblaciones de maíz.

	CP1	CP2	CP3
Valor propio	3.8806	2.2789	1.3080
Proporción (%)	38.8	22.8	13.1
Acumulada (%)	38.8	61.6	74.7
Variables	Vectores propios		
AP	-0.344	0.034	0.477
AM	-0.015	0.304	0.461
NH	0.305	-0.070	0.474
NGH	0.317	0.245	-0.487*
LM	0.334	0.406	-0.064
DM	0.145	0.079	0.172
PM	0.456*	0.189	0.183
PO	-0.161	0.602*	0.017
PG	0.485*	-0.047	0.164
FD	0.294	-0.520*	0.056

*Variables con mayor peso

Con respecto a los vectores propios (Cuadro 4) en el primer componente principal las variables con mayor peso fueron PG y PM. En el segundo vector sobresalen las variables PO y FD. En el tercer vector propio sobresale la variable NGH.

De acuerdo a la gráfica biplot (Figura 7) constituida por los dos primeros componentes explican 61.6% de la variación total de los datos. En esta grafica se observa la relación que existe entre las 10 variables analizadas, donde los ángulos agudos indican correlaciones positivas, ángulos obtusos corresponden a correlaciones negativas y ángulos rectos indican que no hay correlación entre las variables (Balzarini *et al.*, 2006). En el primer componente principal la variable PM10%H y PG se relacionan con la ubicación de los grupos G6 y G7 ya que tuvieron un alto peso de mazorca, los grupos G1 y G4 tuvieron el menor peso de mazorca.



AP= altura de planta, AM= altura de mazorca, LM= longitud de mazorca, DM= diámetro de mazorca, NGH= número de granos por hilera, NH= número de hileras, PM= peso de mazorca, PG= peso de grano; PO= peso de olate, FD= factor de desgrane, C= criollo.

Figura 7. Gráfica biplot que muestra las variables-vector y grupos (Gn) de maíz criollo pigmentado, en base a dos primeros componentes principales.

En el segundo componente principal la variable FD y PO se relacionan con la ubicación de los grupos G1 el cual presento el mayor PO y el menor FD contrastando con los grupos G4 y G3 que tuvieron el menor PO por lo tanto un alto FD.

Los coeficientes de correlación mostrados en el Cuadro 5, indican una correlación negativa entre NGH y AP ($r = -0.643^{**}$) lo que significa que aquellos genotipos del grupo G2 (Cuadro 2) tuvieron una mayor altura y presentaron un menor NGH (26.17). Por otro lado, los grupos G6 y G7 con mayor LM mostraron una correlación positiva con NGH ($r = 0.578^{**}$). Existe una correlación positiva y altamente significativa entre PM y PG ($r = 0.929^{**}$), estas dos variables también presentaron correlaciones positivas y altamente significativas con NH, NGH y LM, además tuvieron una correlación negativa con AP. En el Cuadro 4 se observa una correlación negativa entre FD y PO ($r = -0.948^{**}$) lo que significa que genotipos con un alto peso de olote registran bajos valores de FD, sin embargo, el FD se correlaciona positivamente con PG ($r = 0.633^{**}$) en genotipos con un reducido peso de olote.

Cuadro 5. Coeficientes de correlación fenotípicas entre variables consideradas en análisis de Componentes Principales.

Variable	AP	AM	NH	NGH	LM	DM	PM	PO	PG
AM	0.178								
NH	-0.190	0.047							
NGH	-0.643^{**}	-0.052	0.042						
LM	-0.406	0.181	0.222	0.578^{**}					
DM	-0.067	0.002	0.121	0.106	0.208				
PM	-0.415	0.140	0.598^{**}	0.536[*]	0.738^{**}	0.259			
PO	0.276	0.288	-0.170	0.098	0.312	0.017	0.008		
PG	-0.489[*]	0.026	0.620^{**}	0.463[*]	0.572^{**}	0.235	0.929^{**}	-0.364	
FD	-0.371	-0.249	0.372	0.052	-0.066	0.091	0.302	-0.948^{**}	0.633^{**}

*Significativo al 0.05 de probabilidad, **Altamente significativo al 0.01 de probabilidad.

Componentes del rendimiento para peso de la mazorca

En los genotipos de maíz pigmentado es importante determinar la relación que existe entre los componentes de rendimiento que influyen sobre el peso de la mazorca. Los componentes de rendimiento no influyen de forma independiente en la productividad, sino que lo hacen de manera conjunta (Pérez-Bolaños *et al.*, 2018). Por otra parte Borroel *et al.* (2018) determinan que los componentes del rendimiento de grano presentan una relación fisiológica con las variables: LM, DM, NH y NGH, por ende, para los componentes del rendimiento del peso de la mazorca (PM) existe una relación positiva con las variables mencionadas, para este trabajo realizado las variables que más contribuyeron al rendimiento fueron las que presentaron valores de correlación positivas y altamente significativa con el PM: PG ($r= 0.929^{**}$), LM ($r= 0.738^{**}$), NH ($r= 0.598^{**}$) y NGH ($r= 0.538^{*}$).

V. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación se puede concluir lo siguiente:

- Con el análisis de conglomerados se identificaron siete grupos de maíz pigmentado con caracteres sobresalientes, siendo éste eficiente, para separar los grupos de genotipos de mayor y menor peso de mazorca.
- Con los dos primeros componentes principales se explicó el 61.6% de la variación total de los datos; las variables peso de grano y peso de mazorca fueron las de mayor peso en el primer componente y en el segundo componente peso de olote y factor de desgrane.
- Los componentes de rendimiento con valores de correlación positivas que más contribuyen al peso de mazorca fueron: Peso de grano ($r= 0.929^{**}$), Longitud de mazorca ($r= 0.738^{**}$), Número de hileras ($r= 0.598^{**}$) y Número de granos por hilera ($r= 0.538^{*}$).
- Los genotipos de los grupos G6 (16) y G7 (1, 14 y 19) fueron superiores a los demás genotipos por presentar los valores más altos de peso de mazorca.

VI. LITERATURA CITADA

- Agama, E. 2011.** Características físicas y químicas de dos razas de maíz azul. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 3:317-329.
- Arellano, V. J. L., C, Tut C., A. María R., Y. Salinas M. y O. S. Tabeada G. 2003.** Maíz azul de los Valles Altos de México.I. Rendimiento de grano y caracteres agronómicos. Rev. Fitotec. Mex. 26:101-107.
- Asociación Andes. (2022).** Manual desarrollo vegetativo del maíz. 16 de marzo de 2022, de Asociación Andes Sitio web: <http://andes.center/wp-content/uploads/2019/10/Manual-Ciclo-del-Maiz.pdf>
- Balzarini, M., A. Arroyo, C. Bruno y J. Di Rienzo. 2006.** Análisis de datos de marcadores con Info-Gen. XXXV Congreso Argentino de Genética, San Luis. Argentina.
- Badui, S. 2006.** Química de los alimentos. Cuarta Edición. Editorial Alhambra. México D.F 140-145
- Betran, F., Bockholt, A. y Rooney, L. 2001.** Blue com in specialty corns. Food Hydrocolloids. 5:455-467.
- Boyer, C. y Shannon, J. 2001.** Carbohydrates of the kernel, corn: chemistry and technology. Journal of Cereal Science. 1:253-272.
- Borroel García, V.. J., L. Salas Pérez, MG Ramírez Aragón, JD López Martínez y J. Luna Anguiano. 2018.** Rendimiento y componentes de producción de híbridos de maíz en la Comarca Lagunera. TierraLatinoamericana 36: 423-429. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.281>
- Cecarelli, S., Grandó, S., y Capettini, F. 2001.** La participación de los agricultores en el mejoramiento de la cebada en el ICARDA. En L. Daniel, Memorias de la Conferencia Internacional sobre futuras estrategias para implementar mejoramiento participativo en los cultivos de las zonas altas de la región Andina (págs. 23 - 27). Quito, Ecuador.
- Ceccarelli, S., Guimarães, E. P., y Weltzien, E. 2009.** Plant breeding and farmer participation. Rome, Italy: ICRISAT, ICARDA, FAO. Obtenido de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/012/i1070e/i1070e.pdf>

- Ching, S., Ingram, D., Hahnel, R. y Rossi, E. 2002.** Serum levels of micronutrients, antioxidants and total antioxidant status predict risk of breast cancer in a case control study. *Journal of Nutrition*. 132:303-306.
- Condo, L.A. y J.M. Pazmiño. 2015.** Diseño experimental en el desarrollo del conocimiento de las ciencias agropecuarias. Aval ESPOCH, Riobamba, Ecuador. P. 21.
- De la Parra, C., Serna, S. y Hai, L. 2008.** Effect of processing on the phytochemical profiles and antioxidant activity of corn for production of masa, tortillas and tortilla chips. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55:4177-4183.
- Dickerson, G. 2008.** Nutritional analysis of New Mexico blue corn and dent corn kernels. *Cooperative Extension of Agriculture*. 20:7-8.
- Dickerson G W (1990)** Blue Corn Production and Marketing in New Mexico. Co-op Ext. Serv. Guide H-226. 294 p.
- Durak, I., Kacmaz, M., Cimen, M., Buyukkok, U. y Ozturk, H. 2001.** Blood oxidant/antioxidant status of arterosclerotic patients, *Journal of Cardiology*. 77:293-297.
- Esteva, G. 2003.** Los árboles de las culturas mexicanas. En: Esteva, G. y C. Marielle (eds). Sin maíz no hay país. CONACULTA. Museo Nacional de las Culturas Populares. México. pp. 17-28.
- Escribano-Bailón, MT, C. Santos-Buelga., and JC Rivas Gonzalo. 2004.** Antocianinas en cereales. *J. Chromatogr. R*. 1054: 128-141.
- Egesel C O, J C Wong, R J Lambert, T R Rocheford (2003)** Combining ability of maize inbreds for carotenoids and tocopherols. *Crop Sci*. 43:818-823.
- Gallardo, Omar & Torres, José & Sotomayor, Juan. (2006).** Mejoramiento de maíces criollos de Honduras mediante la aplicación de metodologías de fitomejoramiento participativo. *Agronomía Mesoamericana*. 17. 10.15517/am.v17i3.5173.
- González-Estrada, A.; Islas, G. J.; Espinosa, C. A.; Vázquez, C. A. y Wood, S. 2007.** Impacto económico del maíz en México: Híbrido H- 50. INIFAP. 83 p.
- Google Earth, 2021.** <https://www.google.com/intl/es-419/earth/>

- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y Centro Nacional de Tecnología Agropecuario y Forestal (CENTA). (El Salvador). (2020).** Guía técnica: el cultivo de maíz. 16 de marzo de 2022, de Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) Sitio web: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/11893?show=full>
- Irani N G, M Hernández J, E Grotewold (2003)** Regulation of anthocyanin pigmentation. *Rec. Adv. Phytochem.* 37:59-78.
- INIA. Estación Experimental Agraria Baños del Inca - Cajamarca. (2014).** Maíz morado INIA 601: Variedad de maíz morado para la sierra norte del Perú. 29 de abril de 2014, de Ministerio de Agricultura y Riego Sitio web: <http://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/65>
- Ittis, H.H. 2000.** Homeotic sexual translocations and the origin of maize (*Zea mays*, Poaceae): A new look at an old problem. *Econ. Bot.* 54(1):7-42.
- José Antonio Serratos Hernández. (2009).** El origen y la diversidad del maíz en el continente americano. 16 de marzo de 2022, de Greenpeace Sitio web: <http://www.funsepa.net/guatemala/docs/el-origen-y-la-diversidad-del.pdf>
- Johnson, E.D. 2000.** Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. Internacional Thompson Editores. New York, U.S.A.
- Joseph, J., Arendas, G. y Gordon, M. 2003.** Blueberry supplementation enhances signaling and prevents behavioral deficits in an Alzheimer disease model. *Neuroscience.* 6:153-162.
- Kato T A, C Mapes, L M Mera, J A Serratos, R A Bye (2009)** Origen y Diversificación del Maíz: Una Revisión Analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad. Editorial Impresora Apolo, S.A. de C.V. D.F., México. 116 p.
- Asociación Andes. (2022).** Manual desarrollo vegetativo del maíz. 16 de marzo de 2022, de Asociación Andes Sitio web: <http://andes.center/wp-content/uploads/2019/10/Manual-Ciclo-del-Maiz.pdf>
- Milagros García. (2021).** ¿Qué es el análisis multivariado? Aprende a dominar datos y variables. 07 de junio del 2022, de Crehana Sitio web: <https://www.crehana.com/blog/desarrollo-web/analisis-multivariado/>

- Méndez, G., Solorza, J. y Paredes, O. 2005.** Composición química y colorimétrica de híbridos y variedades de maíz. *Revista Agrociencia*. 39:267- 274.
- Minitab, Inc. 2009.** Minitab Statistical Software, Versión 16 para Windows, State College, Pennsylvania. Minitab® es una marca comercial registrada de Minitab, Inc.
- Morris, M., y Bellon, M. 2004.** Participatory plant breeding research: Opportunities and challenges for the international crop improvement system. *Euphytica*, 136(1), 21 - 35. doi:10.1023/B:EUPH.0000019509.37769.b1
- Nadal, A. y T. Wise. 2004.** Los costos ambientales de la liberación agrícola: El comercio de maíz entre México y Estados Unidos en el marco del NAFTA. En: H. Blanco, L. Toledo de Algueira y K.P. Gallagher (eds.). *Globalización y medio ambiente lecciones desde las Américas*. Heinrich Böll Foundation North America. pp. 1-44.
- Ortega, P. R. 1985.** Recursos genéticos para el mejoramiento del maíz en México. Primeraparte: Análisis general. *Boletín de intercambio técnico y científico de la SOMEFI*.3:19-36.
- Ortega, R. C. y Ochoa, B. R. 2003.** El maíz: un legado de México para el mundo. *Claridades Agropecuarias*. 3-16 pp.
- Rafael Ortega Paczka, Abisael Alberto Cuevas Sánchez. (2018).** Mejoramiento de maíz nativo. Primera edición. Chapingo, Texcoco, Estado de México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Paliwal, R. L. 2001 a.** Introducción al Maíz y su importancia. En: Paliwal, R. L.; Granados, G.; Lafitte, H. R.; Violic, A.,D. y Marathée, J. P. (Eds.). *El maíz en los trópicos. Mejoramiento y producción*. Colección FAO: Producción y Protección Vegetal 28. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. pp. 1-3.
- Paliwal RL, G Granados, HR Lafitte, AD Violic (2001)** El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. FAO, Roma. 376 p.
- Pérez-Bolaños, J. J. & Salcedo-Mendoza, J. G. 2018.** Componentes del rendimiento en cultivares de ajonjolí *Sesamum indicum* L. (Pedaliaceae), en el departamento de Sucre (Colombia). *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 19: 263-276.

- Programa de Maíz del CIMMYT. 2004.** Enfermedades del maíz: una guía para su identificación en el campo. Cuarta edición. México, D.F.: CIMMYT.
- Rooney, L. W., & Serna-Saldivar, S. O. (2003).** Food use of whole corn and dry-milled fractions. *Corn: chemistry and technology*, (Ed. 2), 495-535.
- Salinas-Moreno, Y., Cruz-Chávez F.J., Días-Ortiz S. A y Castillo-González F. (2012).** Granos de maíces pigmentados de Chiapas, características físicas, contenido de antocianinas y valor nutracéutico. *Rev. Fitotec. Mex.* 35: 1-10.
- Salinas Moreno, Y., García Salinas, C., Coutiño Estrada, B., & Vidal Martínez, VA (2013).** Variabilidad en contenido y tipos de antocianinas en granos de color azul/morado de poblaciones mexicanas de maíz. *Revista fitotecnia mexicana*, 36, 285-294.
- Sánchez J J, M M Goodman, C W Stuber (2000)** Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ.c Bot-* 54:43-59.
- Statista. (31 de enero de 2022).** Producción de granos a nivel mundial 2021/22, por tipo. 26/03/2022, de Statista Sitio web: <https://www.statista.com/statistics/263977/world-grain-production-by-type/>
- Statista. (ENERO 2022).** Producción mundial de cereales en 2021/22, por tipo (en millones de toneladas métricas). 30/03/2022, de Statista Sitio web: <https://www.statista.com/statistics/263977/world-grain-production-by-type/>
- Statista. (2022).** Producción mundial de maíz en 2021/2022, por país. 28/03/2022, de Statista Sitio web: <https://www.statista.com/statistics/254292/global-corn-production-by-country/>
- Su, M. y Chien, P. 2007.** Antioxidant activity, anthocyanins and phenolics of blue corn (*Zea mays* L.). *Food Chemistry*. 104:181-187.
- Toledo Machado, A., Santilli, J., y Magalhães, R. 2008.** A agrobiodiversidade com enfoque agroecológico: implicações conceituais. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica. (Texto para Discussão / Embrapa. Secretaria de Gestão. Obtenido de <https://www.embrapa.br/documents/1035106/1047819/texto34.pdf/5448d115-890d-4314-b7ffba46b9687671>

- Turrent-Fernández A, T A Wise, E Garvey (2012)** Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz de México. Mex. Rural Develop. Res. Rep. 24:1-36.
- USDA, Fastmarkets AgriCensus 2022.** (2022). Global corn demand per million tonnes. 28/03/2022, de Fastmarkets Sitio web: <https://www.fastmarkets.com/corn-2021-review-highlights-and-what-to-expect-for-2022>
- Vázquez-Carrillo M G, J P Pérez-Camarillo, J M Hernández-Casillas, M L Marrufo-Díaz, E Martínez-Ruiz (2010).** Calidad de grano y de tortillas de maíces criollos del altiplano y valle del mezquital, México. Rev. Fitotec. Mex. 33:49-56.
- Vargas, L.A. 2007.** La historia incompleta del maíz y su Nixtamalización. Cuadernos de Nutrición 30 (3):97-102.
- Wang, J. y Mazza, G. 2002.** Inhibitory effects of anthocyanins and other phenolic compounds on nitric oxide production. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 50:850-857.