



# UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

*Campus Loma Bonita*

---

INGENIERÍA AGRÍCOLA TROPICAL

**PROSPECTIVAS DE EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS  
MORFOLÓGICAS Y RENDIMIENTO DE MAÍZ (*Zea mays* L.)  
CRIOLLO DE TEMPORAL PARA LA SELECCIÓN DE SEMILLA**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA AGRÍCOLA TROPICAL

PRESENTA:

CATALINA DOMÍNGUEZ CRISANTO

DIRECTOR:

D.C. JOSE ANGEL RUEDA BARRIENTOS

CODIRECTOR:

ING. CÉSAR HERRERA FUENTES

LOMA BONITA, OAXACA, MÉXICO, 2020

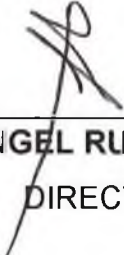


## UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

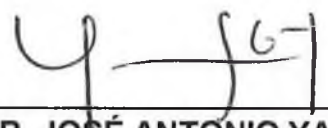
*Campus Loma Bonita*

LA PRESENTE TESIS TITULADA "PROSPECTIVAS DE EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y RENDIMIENTO DE MAIZ (*Zea mays* L.) CRIOLLO DE TEMPORAL PARA LA SELECCIÓN DE SEMILLA" PRESENTADA POR LA PASANTE CATALINA DOMINGUEZ CRISANTO, BAJO LA DIRECCIÓN DEL DR. JOSE ANGEL RUEDA BARRIENTOS, HA SIDO APROBADA POR EL JURADO EXAMINADOR Y ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERA AGRÍCOLA TROPICAL.

### JURADO EXAMINADOR



\_\_\_\_\_  
D.C. JOSE ANGEL RUEDA BARRIENTOS  
DIRECTOR



\_\_\_\_\_  
DR. JOSÉ ANTONIO YAM  
TZEC  
REVISOR



\_\_\_\_\_  
DR. HIPÓLITO HERNÁNDEZ  
HERNÁNDEZ  
REVISOR

LOMA BONITA, OAXACA, MÉXICO, 2020



# Universidad del Papaloapan

|                |                                     |
|----------------|-------------------------------------|
| FECHA:         | 30 de Enero del 2020                |
| AREA:          | Vice-Rectoría Académica             |
| OFICIO NUMERO: | UNPA/VRA/031/2020                   |
| ASUNTO:        | Autorización de Impresión de tesis. |

C. Catalina Domínguez Crisanto  
**P R E S E N T E:**

En base al artículo 120 del reglamento de alumnos, por medio de la presente se aprueba la impresión de la tesis titulada **“Prospectivas de evaluación de características morfológicas y rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) criollo de temporal para la selección de semilla”** así como la programación del examen profesional bajo la dirección del Dr. Jose Angel Rueda Barrientos.

Sin más por el momento aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente,  
terra uberrima, mens aperta  
Bou Lo-tama, chi jí jú

  
MC. HÉCTOR LÓPEZ ARJONA  
Vice-Rector Académico.



C.e.p. Dr. Rogelio Enrique Palacios Torres Jefe de Carrera de la Lic. En Ingeniería Agrícola Tropical  
C.e.p. L.P. Yesenia Barrientos Arenal, Jefa del Departamento de Servicios Escolares  
C.e.p. Dr. Jose Angel Rueda Barrientos, Directora de Tesis.  
C.e.p. Archivo.



# UNIVERSIDAD DEL PAPALOAPAN

## CAMPUS LOMA BONITA

Oficio No. JCIAT/04/20

Loma Bonita, Oaxaca a 30 de enero de 2020

**M.E. YESENIA BARRIENTOS ARENAL**  
**JEFA DEL DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES**  
**PRESENTE**

Por este medio le comunico que la Jefatura de Carrera a mi cargo a designado como jurado del proyecto de tesis titulado "PROSPECTIVAS DE EVALUACIÓN DE CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y RENDIMIENTO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) CRIOLLO DE TEMPORAL PARA LA SELECCIÓN DE SEMILLA", para examen de titulación de la egresada **C. CATALINA DOMÍNGUEZ CRISANTO**, a los profesores

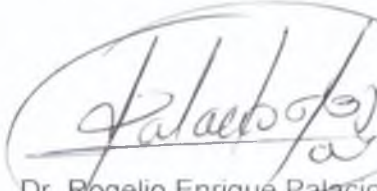
Presidente: Dr. José Antonio Yam Tzec  
Secretario: Dr. Hipólito Hernández Hernández  
Vocal: Dr. José Angel Rueda Barrientos

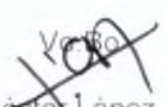
Como suplentes:  
Dr. Rogelio Enrique Palacios Torres  
M.I. Gabriela Díaz Félix

Sin más por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

**Atentamente**

*"Terra Uberrima, mens aperta"*  
*Bonum Loma, Chi Ji Jü*

  
  
**INGENIERÍA**  
**AGRICOLA**  
**TROPICAL**  
Dr. Rogelio Enrique Palacios Torres  
Jefe de la Carrera de Ingeniería Agrícola Tropical

  
M.C. Héctor López Arjona  
Vice-Rector Académico

c.c.p. Archivo

## DEDICATORIA

### *A Jehová Dios*

Porque todas las cosas proceden y existen por Él  
Por darme el don de la vida  
Por ser mi guía y fortaleza en todo momento  
Por la satisfacción de concluir lo que he comenzado

### *A Jesucristo*

“Yo soy el camino, la verdad y la vida” (Juan 14:6)

### *A mis padres*

Con amor, respeto y admiración  
*Adrián Domínguez Sebastián*  
*& Cecilia Crisanto Borja*  
“Los seres más valiosos que Dios me ha dado”  
Por su apoyo incondicional

### *A mis hermanos*

Con mucho cariño  
*Nohemí, Onofre, Adrián, Tagasi, Juventino & Judith*  
Por su apoyo, motivación y comprensión  
Por acompañarme en mi formación profesional

### *A mis sobrinos:*

*Víctor Adrián & Joel Alfonso*  
Por ser mi alegría y la de mi familia

## AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater, la **Universidad del Papaloapan**, por brindarme la oportunidad de realizarme como profesionista.

Al D.C. **Jose A. Rueda** por su acertada dirección y por su contribución al enriquecimiento de este trabajo.

Al Ing. **César Herrera**, por su amistad, por su tolerancia y por su valiosa dirección, en todas y cada una de las etapas del trabajo.

A la Dra. **Beatriz Carely Luna** y al Dr. **Marcelino Ramírez** por las importantes aportaciones en el tratamiento estadístico de los datos.

Al Dr. **Miguel Ángel Sánchez Hernández** por sus valiosas aportaciones a este trabajo y por sus consejos para la culminación del mismo.

A todos los **profesores** de la carrera **Ingeniería Agrícola Tropical**, por compartirme sus conocimientos y por motivarme en el transcurso de mi formación profesional. Especialmente al jefe de carrera, Dr. **Rogelio E. Palacios Torres**.

A la Dra. **Ana Rosa Ramírez**, al Dr. **José A. Yam** y al Dr. **Hipólito Hernández** por sus valiosos aportes en la escritura de este trabajo.

A la jefa de Centro de Idiomas de la Universidad del Papaloapan **Cheryl Lynn Gad**, por ser mi tutora durante toda la carrera, por brindarme su confianza y su tiempo.

A **Esbeidy, Hernán, Isabel, Jorge, José Luis, José Manuel, Liliana, Marco Eduardo, Rafael, Rosa Anahí y Verónica. Generación 2015-2020 de Zootecnia** y a **José Alfredo Ruiz**. Por su colaboración en la toma de datos en campo.

A la Lic. **Christian Gissell Parroquín**, técnica del Laboratorio Químico Biológico de la Universidad del Papaloapan, por la atención brindada.

## ÍNDICE

|                                                            | Pág. |
|------------------------------------------------------------|------|
| ÍNDICE DE CUADROS .....                                    | xi   |
| ÍNDICE DE FIGURAS .....                                    | xii  |
| ÍNDICE DEL ANEXO .....                                     | xiii |
| RESUMEN .....                                              | xiv  |
| ABSTRACT .....                                             | xv   |
| 1. INTRODUCCIÓN .....                                      | 1    |
| 2. OBJETIVOS .....                                         | 3    |
| 2.1. Objetivo general.....                                 | 3    |
| 2.2. Objetivos particulares .....                          | 3    |
| 3. HIPÓTESIS .....                                         | 3    |
| 4. REVISIÓN DE LITERATURA .....                            | 4    |
| 4.1. Importancia económica.....                            | 4    |
| 4.2. Usos del maíz.....                                    | 6    |
| 4.3. Origen del maíz .....                                 | 7    |
| 4.4. La planta y el ambiente.....                          | 8    |
| 4.5. Sistemas de producción del cultivo.....               | 12   |
| 4.6. Contexto social en la selección de semilla.....       | 14   |
| 4.7. Selección de semilla .....                            | 18   |
| 4.7.1. Selección masal .....                               | 19   |
| 4.7.2. Selección masal visual estratificada o moderna..... | 20   |

|        |                                                                                 |    |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.7.3. | Selección familiar de medios hermanos .....                                     | 21 |
| 4.7.4. | Selección de familias de hermanos completos .....                               | 22 |
| 4.7.5. | Selección recurrente .....                                                      | 23 |
| 4.8.   | La hibridación .....                                                            | 25 |
| 4.9.   | La transgénesis .....                                                           | 25 |
| 5.     | MATERIALES Y MÉTODOS .....                                                      | 26 |
| 5.1.   | Localización .....                                                              | 26 |
| 5.2.   | Condiciones experimentales .....                                                | 27 |
| 5.3.   | Cosecha y selección de plantas .....                                            | 28 |
| 5.4.   | Variables .....                                                                 | 28 |
| 5.4.1. | Variables medidas en la planta .....                                            | 28 |
| 5.4.2. | Variables medidas en la mazorca .....                                           | 29 |
| 5.4.3. | Variables indirectas .....                                                      | 30 |
| 5.5.   | Análisis de datos .....                                                         | 31 |
| 6.     | RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                                                    | 33 |
| 6.1.   | Información recabada .....                                                      | 33 |
| 6.1.1. | Orden en el que se presenta la información .....                                | 33 |
| 6.1.2. | Análisis de grupos .....                                                        | 34 |
| 6.1.3. | Análisis con la información completa (sin agrupar en intervalos de clase) ..... | 35 |

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6.1.4. Prueba de independencia entre el rendimiento y las variables explicativas..... | 37 |
| 6.2. Variables medidas en la planta.....                                              | 49 |
| 6.2.1. Altura de la mazorca (AM).....                                                 | 50 |
| 6.2.2. Altura relativa de la mazorca (ARM).....                                       | 51 |
| 6.2.3. Diámetro del tallo (DT) .....                                                  | 51 |
| 6.2.4. Número de raíces adventicias (NRA).....                                        | 52 |
| 6.2.5. Número de espigas (NE).....                                                    | 52 |
| 6.2.6. Hojas arriba de la mazorca (HAM) .....                                         | 53 |
| 6.2.7. Altura de la planta (AP) .....                                                 | 54 |
| 6.2.8. Acame (Ac), cuateo (Cu) y posición del totomoxtle (To) .....                   | 55 |
| 6.3. Variables medidas en la mazorca.....                                             | 55 |
| 6.3.1. Peso de la mazorca (PM).....                                                   | 56 |
| 6.3.2. Diámetro de la mazorca (DM) .....                                              | 57 |
| 6.3.3. Largo de la mazorca (LM) .....                                                 | 57 |
| 6.3.4. Número de hileras en la mazorca (NHM).....                                     | 58 |
| 6.4. Variables medidas en el grano y el olote .....                                   | 59 |
| 6.4.1. Peso del olote (PO).....                                                       | 60 |
| 6.4.2. Diámetro del olote (DO) .....                                                  | 60 |
| 6.4.3. Diámetro del olote (DO) .....                                                  | 61 |

|        |                                 |    |
|--------|---------------------------------|----|
| 6.4.4. | Largo del olote (LO) .....      | 61 |
| 6.4.5. | Peso de 100 granos (P100) ..... | 62 |
| 6.4.6. | Ancho del grano (AG).....       | 63 |
| 6.4.7. | Largo del grano (LG).....       | 63 |
| 7.     | CONCLUSIONES.....               | 65 |
| 8.     | RECOMENDACIONES .....           | 66 |
| 9.     | LITERATURA CITADA.....          | 67 |
| 10.    | ANEXO.....                      | 81 |

## ÍNDICE DE CUADROS

Pág.

|                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Cuadro 1.</b> Grupos sugeridos por el software Octave, límite de clases de cada variable, su promedio, frecuencia y rendimiento promedio. ....                                                                                                                  | 38 |
| <b>Cuadro 2.</b> Coeficientes de regresión, de acuerdo con el software Octave, para predecir el rendimiento en grano a partir cada una de las características morfológicas medidas en la planta y en la mazorca de maíz criollo de temporal. ....                  | 41 |
| <b>Cuadro 3.</b> Criterios cuantitativos de selección, rendimiento en grano y coeficiente de correlación para la asociación entre cada variable morfológica y el rendimiento, en maíz criollo de temporal, de acuerdo con los resultados del software Octave. .... | 42 |
| <b>Cuadro 4.</b> Correlación entre algunas de las variables morfológicas de la planta de maíz; mazorca, grano y olote con el rendimiento de una población de maíz criollo de temporal en Ley de Reforma Agraria, Isla, Veracruz. ....                              | 44 |
| <b>Cuadro 5.</b> Número de plantas de maíz criollo de temporal que podrían ser objeto de selección para semilla en función a los criterios cuantitativos de selección. ....                                                                                        | 46 |
| <b>Cuadro 6.</b> Prueba de independencia ( $\chi^2$ ) entre rendimiento en grano y diversas variables morfológicas de maíz criollo de temporal. ....                                                                                                               | 48 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

|                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Plantas que fueron seleccionadas con base en los criterios cuantitativos sugeridos por el software octave entre las 50 plantas que efectivamente presentaron el mayor rendimiento, partiendo de una muestra total de 300 individuos..... | 47 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## ÍNDICE DEL ANEXO

Pág.

**Anexo.** Gráficos de asociación entre las variables morfológicas y el rendimiento en grano de maíz criollo de temporal, obtenidos del software Octave (v. 4.0).. 81

## RESUMEN

Se condujo un experimento con el objetivo de desarrollar una metodología sencilla para la obtención de semilla de maíz criollo de temporal, en el municipio de Isla, Veracruz, México. Se eligieron 300 plantas de 143 días de edad, de acuerdo con la metodología de la selección masal estratificada, y en ellas se midieron 20 variables morfológicas. El rango de valores de cada variable se dividió en 4 intervalos de igual anchura, de acuerdo con un modelo de regresión polinomial, para explicar el rendimiento en grano a partir de cada variable medida. Se estimó el coeficiente de correlación y se ejecutó una prueba de independencia entre el rendimiento en grano y cada una de las 20 variables morfológicas medidas. Para la prueba de independencia se contó el número de plantas que coincidían en haber sido seleccionadas, siguiendo primero el criterio cuantitativo de selección de la variable explicativa, y después por pertenecer a las 50 plantas con mayor rendimiento en grano. Ninguna de las variables medidas en la planta completa presentó asociación importante con el rendimiento, mientras que todas las variables medidas en la mazorca estuvieron correlacionadas con el rendimiento. La mencionada asociación fue alta y directamente proporcional, según el coeficiente de correlación lineal, por lo que a mayores valores de estas variables se asocia un mayor rendimiento en grano. De acuerdo con una prueba de ji-cuadrada, el peso de la mazorca fue la variable que mostró mayor asociación con el rendimiento, coincidiendo en 46 de las 50 plantas con el mayor rendimiento. Por lo tanto, en el presente trabajo concluimos que el peso de la mazorca puede utilizarse como referencia directa para obtener semilla en programas de selección dirigidos a aumentar el rendimiento en grano, en particular, deben seleccionarse las mazorcas de mayor peso.

**Palabras clave:** Selección de semilla, Maíz criollo de temporal, Características morfológicas, Correlaciones fenotípicas.

## ABSTRACT

A study was conducted aiming to propose a simple method for seed selection of native varieties of corn cultivated in Isla, Veracruz, Mexico. A sample of 300 plants 143 days old was drawn following the masal stratified selection criteria, then 20 morphological features were measured on the chosen plants. Records of each variable were divided into 4 intervals of equal width in order to fit a polynomial regression model able to predict grain yield from each given morphological feature. A correlation coefficient and an independence test were run between grain yield and each of the 20 morphological variables measured. Independence test took into account the number of corn plants whose selection criteria for a given morphological featured coincided with the 50 plants with the highest grain yield.

None of the variables that were measured in the whole plant showed important association to grain yields, whereas all variables measured on the cob were effectively correlated to grain yield. The given association was high and directly proportional to grain yield, so that the highest the record for a given cob feature, the highest the grain yield. From a chi squared test, the cob weight was the variable with the highest association to grain yield since the criteria followed for this variable concurred in 46 out of 50 plants with the highest grain yield. In consequence, the conclusion of the present work is that the cob weight might be taken into account as a direct reference when getting seed in selection schemes leading to increase grain yield, where higher weight of the cob will imply a higher yield in most cases.

**Key words:** Seed selection, Indigenous corn varieties, Morphological features, Phenotypic correlation.

## 1. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es un alimento de gran importancia en México. En el cual se cultivan 8 millones de hectáreas de maíz cada año, 2.5 millones de estas se siembran en la región tropical húmeda, que abarca entre otros, los estados de Oaxaca y Veracruz; con rendimientos de 2.4 t ha<sup>-1</sup>. A pesar de los avances en la agricultura y la biotecnología, un 70 % de los campesinos mexicanos aun no tienen acceso a semilla mejorada, lo que provoca bajos rendimientos (Jaramillo *et al.*, 2018).

La variabilidad genética existente de los maíces de nuestro país incluye los ancestros silvestres, las variedades avanzadas, los cultivares criollos y los híbridos mejorados. Los maíces criollos están plenamente adaptados al nicho biológico y climático que han ocupado por siglos, estos genotipos son preferidos por los pequeños productores. El maíz criollo representa una enorme riqueza de variabilidad genética, la cual debe ser conservada para su reproducción.

La diversidad actual del maíz es producto de la selección realizada por los indígenas mexicanos. La selección empírica tradicional sirvió de base genética para los cruzamientos que originaron al maíz criollo, así como a las variedades e híbridos actuales, estos últimos mejorados por el hombre con la finalidad de aumentar el rendimiento.

Los pequeños productores seleccionan la semilla a partir de la cosecha anterior, siguiendo criterios empíricos como el tamaño de la mazorca y el tamaño y posición del grano en la mazorca. No obstante, este método de selección no toma

en cuenta si las mazorcas seleccionadas provienen de plantas sujetas a competencia completa.

El presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo de una metodología de selección de semilla de maíz criollo en campo, al momento de la madurez comercial, con base en características morfológicas medidas en la planta y en la mazorca. La metodología será de fácil implementación para el productor y no requiere inversión de recursos o mano de obra adicionales.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Evaluar las características morfológicas medidas en la planta y en la mazorca que tengan una asociación significativa con el rendimiento en grano, en una población de maíz criollo de temporal, con la finalidad de obtener indicadores cuantitativos para la selección de semilla.

### **2.2. Objetivos particulares**

1. Determinar la relación de diversas características morfológicas medidas en la planta y en la mazorca del maíz criollo de temporal con el rendimiento en grano.
2. Encontrar indicadores cuantitativos para la selección de semilla con base en características morfológicas.

## **3. HIPÓTESIS**

El rendimiento del maíz está asociado a la morfología de la planta, por lo que es posible definir criterios cuantitativos para la selección de la semilla, con base en las características morfológicas medidas en la planta y la mazorca.

## **4. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **4.1. Importancia económica**

A nivel global, el maíz ocupa el segundo lugar de acuerdo con el volumen de la producción, después del trigo, mientras que se coloca en el tercer sitio en términos de rentabilidad. La superficie sembrada de maíz a nivel mundial es de 129 millones de hectáreas, con rendimientos de 6.7 t ha<sup>-1</sup> de grano en países desarrollados y de 2.4 t ha<sup>-1</sup> en países en desarrollo (Khalily *et al.*, 2010).

El maíz es el cultivo más importante en México. Este grano es el alimento principal de la población, así como el de mayor superficie sembrada y con mayor valor de la producción. Además, su cultivo genera empleos para el 20 % de la población económicamente activa. El consumo per cápita anual de maíz en México es de 196 kg, principalmente en forma de tortilla, lo que representa el 21 % del gasto total en alimentos en nuestro país (SAGARPA, 2017). México es el quinto país con mayor consumo humano de este grano.

En México, la superficie sembrada anualmente de maíz es de 8 millones de hectáreas, con una producción total de 24.7 millones de toneladas de grano, y con un rendimiento promedio de 3.1 t ha<sup>-1</sup>. El 88 % de la producción corresponde al ciclo primavera-verano. Con respecto a las condiciones de cultivo, el 75.6 % de la superficie no se encuentra mecanizada, 65.1% no aplica tecnologías sanitarias, mientras que en 30.2 % de la superficie sí cuenta con asistencia técnica. Para el 2016, 52 % del maíz blanco se destinó al consumo humano, 19 % al pecuario, 18 % al autoconsumo, 6 % a exportaciones, y 1 % para semilla,

considerando mermas de 4 % (FIRA, 2016). La estacionalidad de las importaciones de maíz amarillo muestra que el mayor flujo comercial ocurre de marzo a mayo, mientras que en julio se importa más maíz (SAGARPA, 2017). De la superficie sembrada, 45.5 % usa riego presurizado, 3.6 % usa riego por gravedad y más del 50 % siembra bajo condiciones de temporal (SAGARPA, 2017).

La superficie sembrada en el país aumentó alrededor de 8.2 millones de hectáreas, pero la producción de grano fue menor a la del año 2016. El consumo directo superó en un 52 % al del año 2016, para llegar a 12.3 millones de toneladas, de los cuales 36 % se destinaron a la industria harinera y 64 % a la industria de la masa y la tortilla. Anualmente se importan de 5 a 7 millones de toneladas de grano amarillo para la industria de alimentos balanceados (SAGARPA, 2017).

Los estados de Sinaloa, Veracruz, Tamaulipas y Chiapas contribuyen con 4.8 millones de hectáreas, y comprenden el 75.4 % de la superficie sembrada. La mayor producción de grano se concentra en el estado de Jalisco, con 3.9 millones de toneladas y 19.9 % de la producción, seguido del estado de México, con 2.2 millones de toneladas y 11.2 % de la producción. Sinaloa tuvo un volumen de producción de 6.2 millones de toneladas en el año 2017, y se espera que para el periodo 2018 a 2019 alcance 5.3 millones de toneladas, de las cuales 1.9 corresponden a maíz blanco y 3.4 corresponden a maíz amarillo (Cuevas, 2018)

## **4.2. Usos del maíz**

El maíz se divide en diversos grupos en función de las características de la semilla: dentado, cristalino, dulce, harinoso, reventón, ceroso y tunicado (Sturtevant, 1899). El grano de maíz es utilizado tanto en alimento humano, como para ganado o como insumo en un gran número de productos industriales, por ejemplo: el jarabe, aceite, harina o fécula, licor, etc. El maíz, junto con el frijol y la calabaza, aportan el 70 % de la ingesta de calorías de los campesinos (Turiján *et al.*, 2012).

El maíz es uno de los granos alimenticios más antiguos en el mundo (Paliwal, 2001) y la tortilla es la fuente de alimentación primordial en países en vías de desarrollo, conjuntamente con los cereales de grano pequeño. En cuanto a valor nutritivo, en términos medios el maíz contiene: 12.8 % de proteína, 80 % de carbohidratos, 5.36 % de grasas y 1.67 % de cenizas.

En algunas regiones, el maíz se utiliza como forraje (Bastías *et al.*, 2011). De acuerdo a González *et al.* (2014) los productores resguardan el forraje en sus graneros para alimentar al ganado en épocas de sequía (Bravo *et al.*, 2005). El ensilado de maíz es también uno de los forrajes conservados más importantes en el mundo (Romero, 2012). Su utilización constituye una herramienta fundamental para mantener y/o aumentar la producción animal (La Ragione, 2008).

### 4.3. Origen del maíz

México es el centro de origen y distribución del maíz (Acosta, 2009). El teocintle es considerado su antecesor directo (Wilkes, 1989). Según Eubanks (2001), el maíz procede de *Tripsacum* y teocintle, mientras que Buckler and Stevens (2006), mostraron a nivel molecular que el maíz proviene del teocintle. De acuerdo con algunas evidencias, el maíz se originó a partir de la mutación de varios *loci* en formas antiguas de teocintle (Doebley, 1994; Galinat, 1988).

El maíz (*Zea mays* L.) pertenece a la familia *Poaceae* (Gramíneas), tribu *Maydeas*, y es la única especie cultivada del género *Zea*. Especies de teocintle y *tripsacum*, llamadas arrocillo y maicillo, son parientes del maíz (Paliwal, 2001). El maíz se propaga por semilla y es producto de la fecundación cruzada, es decir, es una planta alógama. Su fecundación es promovida por el movimiento del viento (Gear, 2006).

El maíz fue el primer cereal sujeto de transformaciones en la tecnología del cultivo, tal como lo evidencia la historia del maíz híbrido en los Estados Unidos de América y en Europa (da Fonseca *et al.*, 2015). Según Goodman (1985), informa que en los Estados Unidos solo el 4 % del área sembrada con maíz contiene germoplasma extranjero, mientras que la proporción de dicho germoplasma representa solo el 10 a 25 %.

El éxito de las tecnologías del cultivo del maíz ha provocado una revolución agrícola para incrementar la producción. El maíz se ha cultivado en tal diversidad de ambientes, que su distribución rebasa a la de cualquier otro cultivo. El trópico

es su centro de origen y evolución, y es allí donde alcanza rendimientos importantes, no obstante, su cultivo continúa en expansión hacia diversas áreas (Paliwal, 2001).

El origen del maíz implicó la transformación de una maleza en un cultivo comestible altamente productivo. El mejoramiento del maíz ha implicado tanto la selección natural como la selección artificial, a mano de agricultores y fitomejoradores. El maíz es una planta completamente domesticada, dependiente de los cuidados del hombre, dado que su adaptación evolutiva ha sido mediada desde tiempos remotos por el hombre (Wilkes, 1985; Galinat, 1988; Dowsell *et al.*, 1996). La selección de semilla que llevan a cabo los agricultores es un componente fundamental en la evolución del cultivo.

#### **4.4. La planta y el ambiente**

El maíz crece en una gran diversidad de ambientes y se encuentra entre los cultivos más productivos en cada ambiente que ocupa. En cada condición, el éxito en los programas de mejoramiento genético del maíz criollo dependerá de la identificación de la variabilidad genética propia del cultivo (Gracen, 1986). La variación genética intrínseca de cada genotipo criollo es muy importante, ya que esta es función del ambiente en el que el maíz ha evolucionado. La variación inducida por el ambiente es independiente del origen de la planta, por lo que esta no es transmitida a la siguiente generación, mientras que la variación genética si conforma los caracteres de la descendencia. Para establecer el cultivo del maíz es importante seleccionar las variedades o híbridos que presenten mayor

adaptación a las condiciones ambientales del lugar, con tal de asegurar la producción y garantizar un rendimiento adecuado (Zamudio *et al.*, 2015).

Es recomendable sembrar semillas certificadas que garanticen parámetros adecuados como tamaño, forma, pureza y sanidad (FAO, 2016). La semilla certificada regularmente promete buena germinación y vigor (Cruz, 2013), dado que provienen de genotipos adaptadas climáticamente a un nicho ambiental y con buen potencial productivo (Tinoco *et al.*, 2002).

El ambiente es determinante en el crecimiento y desarrollo las plantas cultivadas. El requerimiento hídrico del maíz durante su crecimiento y desarrollo no debe ser menor a 300 mm. Pedrol *et al.* (2008), establecen que el requerimiento hídrico óptimo es de 550 a 1000 mm por ciclo. De acuerdo con INIFAP (2001), las variedades precoces requieren menor cantidad de agua que las variedades tardías. El maíz requiere suelos profundos y fértiles para dar una buena cosecha, suelos francos que permitan un buen desarrollo radicular, y con estructura granular para que provean un equilibrio entre un buen drenaje y una buena retención de agua. El maíz logra mayor producción cuando hay balance entre la calidad y acidez del suelo. A pesar de que el maíz se adapta a acidez o alcalinidad moderada (5.0 y 8.0) el pH óptimo es de 6.0 a 7.0 (Purseglove, 1985).

El maíz es una planta C4, con alta tasa fotosintética. Siendo uno de los cultivos más eficientes en la conversión de energía solar en materia orgánica a partir de anhídrido carbónico, agua, minerales del suelo y materia orgánica. Su tasa de

multiplicación es de 1:600-1:1000, y es una de las plantas con mayor potencial de producción de carbohidratos por unidad de superficie (Aldrich *et al.*, 1975).

El ciclo productivo del maíz es función de su integral térmica, que consiste en la suma de grados día transcurridos a partir de su siembra (Amado, 2017). La integral térmica es un parámetro climático que se relaciona con fenómenos biológicos y ecológicos diversos (Frank y Hofmann, 1989; Ralphs *et al.*, 2002) y enmarca las etapas fenológicas (Jouglet *et al.*, 1982) en respuesta a la energía que la planta recibe durante su ciclo y determina su desarrollo y morfología. Cada variedad posee una integral térmica característica que explica el tiempo necesario para llegar a la floración o a la madurez fisiológica. Esta integral es característica de cada cultivo, independientemente de ciclo o las condiciones de manejo. No obstante, el número de días requeridos para alcanzar cada etapa fenológica es variable, pues depende de la temperatura ambiental.

El ciclo fenológico del cultivo es la relación entre el tiempo y las etapas de desarrollo de la planta, desde la germinación hasta la fructificación. El ciclo biológico de la planta comprende 2 etapas principales: desarrollo vegetativo y desarrollo reproductivo (Ritchie *et al.*, 1986). Algunos criterios para dicha clasificación de etapas son sugeridos por la FAO (López y de la Cruz, 2012).

Para maximizar la producción, se recomienda sembrar el ciclo más largo posible en cada zona, sin comprometer la maduración de la planta, dado que las condiciones climáticas difieren entre años. Queda en manos de cada agricultor, el sembrar en ciclo largo o en ciclo más corto; la clasificación del maíz en función

al ambiente fue descrita por Dowsell *et al.* (1996). Las variedades de maíz que se usan en los trópicos van desde híbridos hasta variedades de polinización abierta o variedades criollas (Smith y Paliwal, 1996).

En la región de la cuenca media del río Papaloapan, el maíz es clasificado en tres tipos en función al ambiente: maíz de tierras bajas, de media altitud y de zonas altas. De acuerdo con la distribución de las lluvias, el ciclo más común es el ciclo primavera-verano. La fecha óptima para siembra en verano puede ser desde el inicio del periodo de lluvias hasta el 15 de julio. Siembras posteriores a estas, estarían expuestas a un déficit de humedad o a vientos de alta velocidad que podrían provocar acame en etapa juvenil. Un segundo tipo de ciclo son las siembras de riego o de humedad residual, para las que se recomienda sembrar en noviembre y diciembre. Uno de los sistemas de cultivo de maíz es llamado Tonamil, del náhuatl “tonamitl” que significa rayo de sol. El maíz se cultiva en laderas expuestas al sol, para aprovechar la mayor incidencia de radiación solar, y utilizando la humedad residual de la temporada lluviosa anterior (Vásquez *et al.*, 2017).

En la región Chinanteca de la Cuenca del Papaloapan, los agricultores siembran dos ciclos de maíz por año. Uno de temporal (primavera-verano), que se establece en las laderas, en los meses de mayo a octubre. Otro, de Tonamil (otoño-invierno) o de humedad residual, que utiliza las últimas lluvias de temporal y algunas lluvias invernales, se establece en laderas o planicies en los meses de noviembre a mayo (Mateos *et al.*, 2016). Las siembras tempranas de zonas de baja altitud se pueden cultivar en ciclos largos, mientras que ciclos cortos son

recomendados para siembras de junio o para altitudes superiores a los 500 msnm. En cada zona, debe utilizarse el ciclo más largo posible. Una vez elegida la longitud del ciclo de siembra, se selecciona la variedad más adecuada. La variedad debe elegirse en función al uso final de la misma. El maíz criollo suele ser preferido por los agricultores que siembran en el ciclo de temporal, con el argumento de que presenta mayor adaptación a las condiciones climáticas particulares. Los agricultores de zonas de alta precipitación, al igual que aquellos que tienen disponibilidad de riego, eligen genotipos híbridos y utilizan una mayor cantidad de insumos.

#### **4.5. Sistemas de producción del cultivo**

En México, existe una diversidad importante en los sistemas de cultivo del maíz, así como en las técnicas y los métodos de manejo durante el crecimiento y desarrollo del cultivo. En general se identifican dos sistemas principales de producción: (1) El monocultivo, altamente intensivo, mecanizado y con un alto uso de insumos, con un enfoque empresarial y con tecnología de punta (semilla mejorada, fertilización, uso de pesticidas, maquinaria y riego etc.). Este pretende alcanzar el máximo rendimiento del grano y el destino de la producción es principalmente la industria, no obstante, solo el 7 % del total de productores corresponden a esta categoría, dada la fuerte inversión que requiere. (2) En segundo lugar, se encuentran los sistemas de subsistencia, con 93 % de los productores. Este sistema utiliza parcelas pequeñas y pocos insumos, implican asociación con otros cultivos y utilizan primordialmente trabajo manual. Subsisten por los escasos recursos, aunque muchas veces son producto de la cultura y

la tradición. Los sistemas de subsistencia utilizan semilla criolla del ciclo anterior, para siembras de temporal y con poca o ninguna incorporación de energía externa. Además, la comercialización se da solo cuando hay excedente en el rendimiento (Magdaleno *et al.*, 2016).

Una de las preocupaciones de los productores de subsistencia es el bajo rendimiento del maíz criollo, que se atribuye a la baja aplicación de insumos y a características propias de plantaciones obsoletas: como problemas de acame, alto porcentaje de plantas jorras y baja resistencia a enfermedades. Sin embargo, es conveniente seguir sembrando ese material y conservar los maíces criollos, que tienen características importantes de adaptabilidad a los ambientes de cada región, al manejo agronómico tradicional del cultivo, además de la gran aceptación de estos genotipos para la alimentación familiar (Magdaleno *et al.*, 2016).

En las comunidades rurales existe una gran variación en las técnicas de manejo de cultivo del maíz, ya que las labores culturales han sufrido un largo proceso histórico, influenciadas por las condiciones climáticas y edáficas de cada lugar. Esto último propicia que el manejo del cultivo del maíz sea diferente en cada lugar (Acosta, 2009). Las practicas campesinas más variadas son las relacionadas con las labores del cultivo, el uso de semillas y las obras de conservación del suelo; que dependen principalmente del contexto social, económico y ambiental en el que se desarrolla la agricultura (Turiján *et al.*, 2012).

#### **4.6. Contexto social en la selección de semilla**

Para llevar a cabo programas de mejoramiento y producción del maíz se deben tomar en cuenta aspectos socio–económicos (Beck y Vasal, 1993). La planta del maíz ha formado parte de la cultura rural desde tiempos inmemorables y es base esencial de la alimentación de diferentes grupos indígenas y mestizos en México. La selección de semilla ocurre en el marco de una profunda problemática social, en la que la marginación de los productores suele ser una constante. En la actualidad, en muchas comunidades el campesino invierte su trabajo y el de su familia, y utiliza parcelas y animales de su propiedad. El campesino administra estos recursos y usa semilla procedente de su propia parcela, en búsqueda de lograr un rendimiento que garantice la sobrevivencia de su familia, y la alimentación de sus animales; y en ocasiones complementa el ingreso con ganadería de traspato. Es el campesino quien decide el nivel de insumos a utilizar (fertilizantes, insecticidas, herbicidas, etc.) de acuerdo con sus posibilidades (Martínez, 1985). Tradicionalmente la cosecha del ciclo anterior es la base para la selección de la semilla para el ciclo siguiente, y es así como los campesinos han promovido la conservación y el mejoramiento del maíz criollo, de generación en generación.

En la domesticación del maíz, la mujer jugó un papel fundamental, particularmente en el caso de las culturas indígenas. De igual manera, la mujer ha sido participe en la permanencia de usos y costumbres asociados al cultivo del maíz, como la selección de la semilla; mientras que los varones realizaban el trabajo de campo.

A pesar de la relevancia social, científica y contemporánea del cultivo de maíz, de su trascendencia y de los avances en la agricultura y la biotecnología, actualmente todavía más del 70% de productores de maíz en el país, con sistemas de producción de subsistencia y tradicional principalmente, no utilizan semilla mejorada de maíz, en la siembra de su parcela, siendo una de sus principales preocupaciones, los bajos rendimientos. Aunque, desde otro punto de vista, los maíces criollos presentan características genéticas y fenotípicas favorables para el productor, tanto por adaptabilidad climática, y por estar familiarizado con el crecimiento y desarrollo de la planta, así como, el gusto y la preferencia alimenticia, lo que implica de alguna manera el seguir usando su semilla criolla. De hecho, dentro de los programas de conservación de los criollos, se tiene previsto seguir impulsando su propagación con apoyos gubernamentales.

El uso de semilla criolla se ha extendido principalmente en el sur del país, en las áreas de temporal, y donde las lluvias son insuficientes o están mal distribuidas. Por ejemplo, en zonas marginadas de los estados de Oaxaca y Veracruz aún prevalecen genotipos criollos (Kato *et al.*, 2009; FIRA, 2016).

Si los agricultores de subsistencia obtienen una variedad comercial, es probable que la cultiven junto a una variedad criolla, provocando cruzamiento entre las variedades. La selección de la semilla para el siguiente ciclo bien podría ocurrir de la misma manera en la que se maneja tradicionalmente la variedad criolla, seleccionando las mejores plantas y mazorcas como semilla (Paliwal, 2001). Esta situación sucede en Vicente Guerrero, Chis., Méx., donde los agricultores

siembran regularmente variedades mejoradas en terrenos adyacentes a aquellas en las que siembran variedades criollas (Bellon y Brush, 1994). En esta situación, nuevos genotipos resultan de las combinaciones de genes de ambas fuentes. Las variedades mejoradas que habían sido introducidas varias décadas antes, se mezclaron con variedades criollas y hoy día son manejadas como tales por los agricultores.

La diversidad del maíz esta resguardada en diversos bancos de germoplasma. En particular, el Banco de Germoplasma del Centro conserva 150 razas de maíz criollo mexicano. Muchas de esas variedades no han sido aún explotadas para el desarrollo de plantaciones mejoradas (Taba, 1995).

Algunas variedades han dado origen a diversas líneas que se han diseminado en casi todos los ambientes tropicales. Por ejemplo, el maíz Tuxpeño ha sido usado en el desarrollo de varios cultivares mejorados, sólo o en combinación con otros genotipos, los cuales hoy en día se cultivan desde México hasta China. Algunas características que han motivado la utilización del maíz Tuxpeño son: resistencia al marchitamiento de la hoja, buena calidad del tallo, resistencia a sequía, tolerancia a la toxicidad por aluminio, tolerancia a inundación, porte bajo y alta productividad. De igual manera, una serie de variedades han sido utilizadas para fijar características específicas (Goodman *et al.*, 1988; Pandey y Gardner, 1992).

Los cultivares obsoletos también constituyen un recurso genético, y sus genes siguen presentes en las variedades actuales. Los cuales, son genotipos que se han cruzado sin control por vecindad con otras siembras, o bien han estado

sujetos a selección de algunos caracteres, que a criterio de los agricultores, han sido importantes (Paliwal, 2001). En algunas décadas estos genotipos significaron la mejor opción disponible para ciertos ambientes, pero actualmente han sido sustituidos.

Un error común en la selección de semilla es acotar los criterios de selección exclusivamente a las características morfológicas de la mazorca, sin tomar en cuenta la adaptación evolutiva de la planta en el ambiente en que se produce y al no considerar la ubicación de la planta dentro de la población, si este ha tenido o no competencia completa y órganos completos. Sin embargo, se sabe desde hace décadas que no se puede juzgar el comportamiento productivo del maíz con base en el aspecto de la semilla (Aldrich y Leng, 1974). Con respecto a la selección, natural o artificial, y su impacto en la evolución de cada especie, debe comprenderse que la selección solo puede ser efectiva con respecto a diferencias heredables, mas no puede crear variabilidad genética sino más bien actuar sobre la variabilidad existente (Allard, 1980).

No obstante, en las ferias agrícolas, aun es común observar muestras de maíces criollos regionales de todo tipo, que se exhiben con orgullo, como patrimonio de los campesinos que las han obtenido a través de siglos de selección.

Como referencia de cómo prefieren algunos agricultores realizar la selección de semilla, uno de los métodos seguido por campesinos para realizar la selección de semilla fue documentado en la comunidad de Pueblo Nuevo, Valle de Acambay, Estado de México, de acuerdo con una encuesta realizada a 50

campesinos. En el caso descrito, 92 % de los agricultores realizan su selección directamente en mazorca, después de realizar la cosecha. Las características determinantes de la selección fueron: tamaño de mazorca (70 %), diámetro del olote (18 %), sanidad de la mazorca (8 %). Al seleccionar semilla de la mazorca, se prefiere el uso de la parte central de la mazorca (70 %) y de la parte basal (26 %) (Magdaleno *et al.*, 2014).

Existen dos tipos de selección: la natural y la artificial, el proceso de la selección natural ocurre sin intervención del hombre en todas las especies (Robles, 1986), mientras que la selección artificial comprende los esfuerzos de mejoramiento genético llevados a cabo por el hombre. Márquez, (1995) menciona los métodos de mejoramiento genético del maíz: selección masal, selección masal visual estratificada moderna, selección de medios hermanos y la hibridación. La selección masal es basada en la característica de la planta y ha demostrado efectividad cuando se dirige a caracteres con alto índice de herencia en variedades de polinización libre. Algunos caracteres con un índice de herencia considerable son altura de planta, largo de mazorca y precocidad.

#### **4.7. Selección de semilla**

El cultivo del maíz ha evolucionado por selección artificial, realizada durante miles de años por los agricultores-mejoradores, y en los últimos 150 años por fitomejoradores. La diversidad genética actual incluye criollos, variedades de polinización libre e híbridos intervarietales. Los genotipos sintéticos han sido

desarrollados para satisfacer propósitos determinados y adaptarse ambientes específicos (Paliwal, 2001).

#### **4.7.1. Selección masal**

La selección masal simple fue el primer método de selección utilizado en el mejoramiento de plantas alógamas. Este método consiste en seleccionar individuos a partir de una población con variabilidad genética, en base exclusivamente en su fenotipo, con el objetivo de que dicho fenotipo se exprese en la progenie y por tanto la frecuencia del mismo aumente para la siguiente generación (Chávez, 1995; Jugenheimer, 1981).

Mediante la selección masal, se ha logrado obtener y conservar cientos de cultivares, los cuales han servido como base genética para el desarrollo de diversas variedades e híbridos (del Bosque, 1998). La selección masal fue ampliamente usada en programas nacionales de mejoramiento genético de maíz (Obregón, 1971), y ha sido particularmente exitosa para modificar características morfológicas como altura de planta, altura de la mazorca y número de entrenudos (Vega y Agudelo, 1972). El éxito en la selección de los tres caracteres mencionados radica en su alto índice de herencia, mientras que para el rendimiento, el índice de herencia es bajo (Robinson *et al.*, 1949).

La baja efectividad que se logra al aplicar el método de selección masal al mejoramiento de caracteres con bajo índice de herencia, ha promovido que para dichos casos se usen estrategias diferentes, como el desarrollo de variedades e híbridos sintéticos con el fin de fijar los caracteres deseados. Con base en lo

anterior, la selección masal es rebasada solo por los caracteres del índice de herencia.

#### **4.7.2. Selección masal visual estratificada o moderna**

Este método consiste en dividir la población base en lotes de igual dimensión y seleccionar un número igual de individuos dentro de cada lote con base en los caracteres deseables, siempre y cuando las plantas se encuentren en competencia completa. Para que se cumpla la condición de competencia completa, las plantas de cada sitio de selección deberán ser individuales y equidistantes (Brauer, 1973). Además, deberán descartarse los individuos en vecindad de plantas que no presenten desarrollo completo o equiparable, o bien en vecindad de plantas no emergidas.

El número de individuos que se seleccionan está en función del tamaño de la parcela y no de la cantidad de semilla requerida para la siembra del siguiente ciclo. Comúnmente se aplica una presión de muestreo de 5 %. No obstante, la varianza fenotípica se reduce conforme aumenta la presión de selección (Euzebio, 1972).

La división de la superficie en lotes tiene como fundamento que la variabilidad de las características del suelo debe ser mínima dentro de cada lote. En consecuencia, las diferencias entre plantas que comparten lote serán mayormente debidas a la variación genotípica, y no a la variación inducida por el ambiente. Sin embargo, la variación observable siempre tiene un efecto de la interacción genotipo – ambiente (Márquez, 1980).

El objetivo esencial de la selección es aumentar el rendimiento en grano (Wilson y Richer, 1969). Con la selección masal visual estratificada se han obtenido ganancias de 2 a 22 % en el rendimiento (Molina, 1980; Martínez, 1990; López, 1991); mientras que con la selección de familias de medios hermanos se han obtenido ganancias de 10 % (Romero, 1968). Algunos estudios han mostrado que la eficiencia relativa del método de selección masal visual estratificada es mayor que la de la selección familiar, es decir, logra mayores incrementos en rendimiento (Mendoza, 1982; Claire, 1984).

La selección masal visual estratificada y la selección de familias de medios hermanos en su modalidad de mazorca por surco, han sido efectivas para mejorar el rendimiento de grano en el maíz (Lonnquist, 1964).

Las poblaciones mejoradas por selección masal son más adecuadas para la obtención de líneas de alta aptitud combinatoria para rendimiento de grano en comparación con las poblaciones originales (Betancourt y Molina, 1974). Por otra parte, materiales cuya variabilidad genética es mayor muestran mayor adaptación y mayor respuesta a la selección masal, que a la hibridación; mientras que aquellos con menor variabilidad genética, muestran mayor respuesta a la obtención de híbridos que a la selección masal (Betancourt y Molina, 1974).

#### **4.7.3. Selección familiar de medios hermanos**

El método de medios hermanos, como sistema básico, fue creado por Hopkins en 1899 con el fin de mejorar la composición química del maíz, en la variedad Illinois (EE. UU), dentro de una población seleccionó plantas para alto y bajo

porcentaje de aceite y contenido de proteínas, formando cuatro grupos, cada grupo lo recombinó por separado; a la cosecha seleccionó mazorcas y a las mejores las recombinó nuevamente, el método fue llamado anteriormente selección mazorca-por-surco. Este método de selección involucra el uso de un padre (común en todos los individuos seleccionados) puede ser de la misma o de otra población. Las progenies de medios hermanos son evaluadas en ensayos con repeticiones para determinar los genotipos superiores. El sistema ha sido modificado por Lonquist en 1964, posteriormente por Compton y Comstock en 1976 (IICA-BID, 1991). Es un método efectivo debido al control parental, sin embargo éste y otros métodos donde la formación de familias se requiere de polinización manual controlada su producción es de alto costo (Ramírez *et al.*, 2000).

#### **4.7.4. Selección de familias de hermanos completos**

Los hermanos completos son progenie del apareamiento entre dos individuos o cruza planta a planta, con semilla obtenida de cruza directa o cruzamiento recíproco (Márquez, 1995). Este método de selección consiste en mezclar las mazorcas de las cruza directa y las recíprocas, posteriormente se evalúan los hermanos completos generados, eligiendo las mejores mazorcas en base a los promedios obtenidos de los lotes donde se estableció la mezcla. Con las semillas obtenidas inicia el siguiente ciclo de selección (Márquez, 1980). Este sistema de selección es doblemente más eficiente que el de medios hermanos (Lonquist, 1965).

#### **4.7.5. Selección recurrente**

La selección recurrente es un método sistemático que tiene la finalidad de aumentar la frecuencia de alelos deseables para un carácter cuantitativo evitando problemas de consanguinidad en plantas alógamas ya que esto conlleva la limitación para la recombinación génica dificultando la consecución. Se considera que la consanguinidad prolongada tiende a la disminución de vigor. Se mantienen entrecruzamiento en todas las combinaciones de los genotipos seleccionados, en cada ciclo de evaluación y autofecundación de las plantas seleccionadas, para ello se considera una población de genotipos superiores en cuanto a sus características cuantitativas, para producir nuevas combinaciones de genes los cuales muestran la expresión mejorada del carácter e incrementa la frecuencia de genes favorables manteniendo la variabilidad genética continua de la selección (Bielsa, 2006; Hallauer, 1992; Poehlman y Allen, 2003).

Existe dos tipos de selección recurrente: selección intrapoblacional y selección interpoblacional

##### **a) Selección recurrente intrapoblacional**

Este método de selección es producido de manera cíclica por ello se considera que la autofecundación de progenies  $S_1$  (una generación) está dentro de este tipo de selección, el cual tiene la finalidad de extraer líneas para obtención de híbridos a partir de una línea elite. También las progenies autofecundadas  $S_2$  (dos generaciones con  $S_1$ ), este método requiere mínimo cuatro estaciones de crecimiento por ciclo para la obtención y recombinación de las  $FS_2$ , (Hallauer,

1985). Teniendo el doble de eficiencia que el método de hermanos completos, y cuatro veces más que el de medios hermanos ya que tras dos ciclos de autofecundación se obtiene un 75% de homocigosis para los caracteres deseados (IICA-BID, 1991).

#### b) Selección recurrente Interpoblacional

Este es realizado al obtener el agotamiento de la variabilidad en la población y el objetivo de mejorar una población a través de cambios de las frecuencias génicas, dentro de ella se encuentra la selección interpoblacional o recíproca de medios hermanos, el cual consiste en que las plantas individuales de la población base se autofecunden con un simultaneo cruzamiento, la característica principal de este método es que cada población que se involucra sirve como probador (padre) de la otra (Bielsa, 2006; Comstock *et al.*, 1949). Y en cuanto a la selección interpoblacional o recíproca de hermanos completos, se evalúan las familias de hermanos completos utilizando plantas prolíficas, obteniendo de una mazorca la cruza para otra población y empleado la otra mazorca para la obtención de semilla  $S_1$ , el cual servirá para la recombinación y obtención de la población base de efectividad, para un siguiente ciclo de selección (Hallauer y Eberhart, 1970; Rodriguez y Hallauer, 1988).

#### **4.8. La hibridación**

La hibridación varietal por medio de la polinización controlada o polinización abierta inicio el desarrollo de híbridos (Beal, 1880). La hibridación tiene como objetivo principal aprovechar la generación F1, siendo éste el resultado de la cruce de dos progenitores con cualquier estructura genética, estos pueden ser variedades de polinización libre, variedades sintéticas, familias y líneas parcial y totalmente endogámicas. Para que su producción sean económicamente viable debe mostrar un alto grado de heterosis (Paliwal, 2001; Quemé y Fuentes, 1992).

#### **4.9. La transgénesis**

Con los avances en la ingeniería genética ha aumentado la calidad y la productividad agrícola en los últimos años llegando al punto de alterar la composición genética de los organismos vegetales, éste implica la integración de genes en el genoma nuclear de la planta, ya sea de la misma o de otras especies vegetales, hongos, virus, bacterias y animales para dar como resultado la producción de los organismos transgénicos (Birch, 1997; Desmond, 1994; Herrera y Martínez, 2007). Por el temor de las posibles repercusiones negativas sobre la salud ha tenido restricciones la producción y consumo del maíz transgénico en Asia y la Unión Europea, en América se centra su producción y en algunos países dentro de ella tiene limitación la producción de este material (Bárcena *et al.*, 2004).

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.1. Localización**

El área de estudio se localiza en la comunidad de “Ley de Reforma Agraria”, perteneciente al municipio de Isla Veracruz, las principales vías de comunicación son: carretera Alemán Sayula y la carretera a Mata Limones, pasando por la comunidad de Mazoco, y entrando por el camino de terracería, a la comunidad de Benito Juárez. La comunidad se encuentra entre el poblado de Benito Juárez y Palma de Oro, a dos kilómetros se encuentra la parcela (área de estudio), en donde se llevó acabo el trabajo de campo.

La Comunidad Ley de Reforma Agraria” fue fundada como ejido “Ley de Reforma Agraria”, en el año 1988, por pobladores que fueron reubicados, en esta zona. Esta comunidad formaba parte del ejido “Arroyo Caracol Estrella”, el cual resultó afectado, por la construcción de la presa “Cerro de Oro” que se localizaba en el Municipio de San Felipe Usila, Tuxtepec, Oaxaca. Su población en el año 2010 era de 158 habitantes (INEGI, 2010) de los cuales 35 eran ejidatarios (DOF, 1993).

El área de trabajo se localiza entre los paralelos 18°03' LN y 95°37' LO, pertenece a la provincia fisiográfica Llanura Costera del Golfo Sur, y a la Subprovincia Llanura Costera Veracruzana. La zona de estudio es una llanura aluvial con lomerío suave. La altitud media es de 20 msnm, predominan los suelos aluviales, entre ellos los luvisoles con textura franco arcilloso en los primeros 30 cm de profundidad. El clima es cálido subhúmedo con lluvias en

verano (Aw), de humedad media, con una temperatura promedio de 24.9 °C, y una precipitación media anual de 2,316 mm (Soto *et al.*, 2001; CONEVAL, 2010).

## **5.2. Condiciones experimentales**

El trabajo se desarrolló en la parcela del Señor Adrián Domínguez, en una superficie de una hectárea, con semilla de maíz criollo del ciclo anterior, estableciéndose el 1 de febrero bajo condiciones de temporal, en el ciclo otoño-invierno de 2017. Las labores culturales fueron realizadas conforme a las técnicas tradicionales que se utilizan en la comunidad. La preparación del terreno se realizó en forma mecanizada con un paso de rastra y el surcado.

La siembra se llevó a cabo depositando dos semillas por golpe con una separación de 40 cm entre plantas y de 80 cm entre surcos, y utilizando 54 kg de semilla por hectárea. La fertilización se llevó a cabo con la fórmula 196-106-20, en 4 aplicaciones: al momento de la siembra se fertilizó con 100 kg de urea y a los 20 dds (días después de la siembra) se aplicó fertilizante foliar con una formula 40-60-20 en 200 L de agua con mochilas de aspersión. A los 30 dds se aplicaron 100 kg de urea y 50 kg de DAP (55-46-00). Finalmente, a los 64 dds se aplicaron 100 kg de urea y 50 kg de DAP (55-46-00). El deshierbe se realizó a los 63 dds, con machete. Para el control de plagas, donde se presentó el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) se aplicaron 250 mL de insecticida (Lannate) en 200 L de agua por hectárea, con mochilas de aspersión. La aplicación de Lannate se repitió a los 96 dds, como acostumbran los agricultores.

### **5.3. Cosecha y selección de plantas**

El crecimiento y desarrollo de la planta transcurrieron normalmente, con los cuidados tradicionales propios del cultivo. Una vez que el cultivo alcanzó su madurez comercial se llevó a cabo la cosecha, el día 23 de junio de 2017, a los 143 dds. Al momento de la cosecha, se seleccionaron 300 plantas como sujetos de evaluación, basándose en el método de selección masal visual estratificada, que consistió en dividir la parcela de una hectárea en 20 lotes de 500 m<sup>2</sup>, para etiquetar 15 plantas por lote. Se etiquetó en campo a plantas que estuvieran en competencia completa y presentaran todos sus órganos, no siguiendo ningún criterio específico adicional.

### **5.4. Variables**

De las 300 plantas seleccionadas para este estudio, se midieron 9 variables en la planta, 9 variables en la mazorca, además de 3 variables indirectas. Entre estas 21 variables observadas, 20 se trataron como variables independientes y una, el rendimiento en grano, como variable dependiente.

#### **5.4.1. Variables medidas en la planta**

- Altura de la planta (AP, m): Se midió desde el nivel del suelo hasta la base de la espiga, utilizando una cinta métrica.
- Diámetro del tallo (DT, cm): Se midió inmediatamente debajo de la mazorca, con un Vernier.
- Hojas arriba de la mazorca (HAM, No.): Se contaron las hojas ubicadas arriba de la mazorca.

- Altura de la mazorca (AM, m): Se tomó desde el nivel del suelo hasta la base de la mazorca, utilizando cinta métrica.
- Totomoxtle abierto o cerrado (To, -1:no, 2:sí-): Se observó si, las hojas que envuelven la mazorca cubrían completamente a la mazorca.
- Número de espigas (NE, No.): Se contaron las espigas principales y sus ramificaciones.
- Número de raíces adventicias (NRA, No.): Se contaron las raíces aéreas del primer nudo visible del tallo, sobre el ras del suelo.
- Cuateo (Cu-1:sí, 2:no-) Se observó visualmente si la planta presentaba una o dos mazorcas.
- Acame (Ac-1:sí, 2:no-): Se observó si la planta presenta inclinación en el tallo.

#### **5.4.2. Variables medidas en la mazorca**

- Diámetro de la mazorca (DM, cm): Se midió a la mitad de la mazorca, con un Vernier.
- Número de hileras en la mazorca (NHM, No.): Se contó el número de hileras completas de grano.
- Peso de la mazorca (PM, g): Se pesó la mazorca completa sin hojas con una balanza (Ohaus® de 1 kg).
- Largo de la mazorca (LM, cm): Se midió la distancia de la base de la mazorca a la punta, con una cinta métrica.
- Diámetro del olote (DO, cm): Se tomó en la parte central del olote, con un Vernier.

- Largo del olote (LO, cm): Se midió la distancia desde la base hasta la punta del olote, con una cinta métrica.
- Peso del olote (PO, g) Se pesó el olote en una balanza (Ohaus® de 1 kg).
- Peso de 100 granos (P100, g): Se pesaron 100 granos del centro de la mazorca en una balanza (Ohaus® de 1 kg).
- Peso total del grano (PG, g): Se pesó todo el grano proveniente de cada mazorca en una balanza (Ohaus® de 1 kg).

Para la evaluación de estas variables, se etiquetaron las plantas y sus mazorcas correspondientes y se trasladaron al Laboratorio Químico-Biológico de la Universidad del Papaloapan.

La mazorca se desgranó después de tomar las variables medidas en la mazorca entera, para después tomar las variables que involucraban sólo al grano. Antes de proceder, se verificó el porcentaje de humedad del grano, llevándose a humedad constante, a 13 %. La variable denominada *peso total de grano* implica el *rendimiento por planta*, y es esta la variable de mayor interés práctico.

#### **5.4.3. Variables indirectas**

- Largo del grano (LG, cm) =  $[(DM) - (DO)] / 2$
- Ancho del grano (AG, cm) =  $[(\pi)(DM)] / (NHM)$
- Altura relativa de la mazorca (ARM, m) = (altura de la planta / 2) – (altura de la mazorca)

La ARM indica la posición de la mazorca con respecto a la altura de la planta. La interpretación de la ARM es:

- a) Si la mazorca se encuentra en el centro del tallo, la ARM es igual a cero.
- b) Si la mazorca se encuentra por encima del centro del tallo, la ARM será negativa.
- c) Si la mazorca se encuentra por debajo del centro del tallo, la ARM será positiva.

### **5.5. Análisis de datos**

La captura, ordenamiento y sondeo inicial de los datos se llevó a cabo en Excel (2010), para obtener la matriz de correlación entre las variables. De especial interés es la asociación de las características morfológicas con el rendimiento en grano.

Mediante el uso del software Octave (John *et al.*, 2015), se eligieron las variables morfológicas que presentaban mayor asociación con el rendimiento en grano. El análisis realizado en Octave consistió en la formación de grupos de plantas que pertenecieran a un intervalo de valores determinado, con tal de asociar el rendimiento en grano con cada variable explicativa. El rango de cada variable se dividió en un número dado de grupos de anchura idéntica, a partir de un ajuste de mínimos cuadrados, entre el vector del promedio de rendimiento en cada grupo ( $\mathbf{y}$ ) y el vector de promedios de la variable explicativa en cada grupo ( $\mathbf{x}$ ). El número de grupos y el grado del polinomio ( $n$ ) elegidos, fueron aquellos que minimizaran el error de ajuste para la función  $\mathbf{y} = f(\mathbf{x})$ .

El rango se dividió en 4, 5, 6, 7, 8, 9 ó 10 grupos de igual anchura, eligiendo el número de grupos que ofrecieran el mejor ajuste y minimizaran el error. Dentro de cada grupo, se calculó la frecuencia y se hizo una comparación entre el rendimiento medio, el máximo y el mínimo. El ajuste se realizó con polinomios de grados 2, 3, 4 y 5 hasta encontrar el grado del polinomio  $n$  que minimizará el error de ajuste para  $y=f(x)$ .

En resumen, se llevaron a cabo 28 pruebas para cada variable (7 fragmentaciones X 4 grados del polinomio), y se utilizó exclusivamente aquella combinación de números de grupos y el grado del polinomio cuyo ajuste fuera óptimo y cuyo error fuera mínimo.

Se definió la asociación de cada variable independiente con el rendimiento, de acuerdo con el número de grupos y el grado del polinomio elegidos. De esta manera, se identificaron las variables independientes que expresaran mayor asociación con el rendimiento en grano. Para fines de recomendaciones prácticas, se definieron los rangos, de cada una de las variables elegidas, que pudieran fungir como criterios cuantitativos de selección.

## **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **6.1. Información recabada**

#### **6.1.1. Orden en el que se presenta la información**

Para facilitar la discusión y atendiendo al orden en que suceden los eventos en la selección de semilla, se decidió dividir las variables morfológicas evaluadas en tres categorías. La primera de ellas comprende las variables medidas en la planta completa, cuando esta se encuentra aún en pie en el campo, ya que es el primer escenario bajo el que puede hacerse la selección. La segunda categoría comprende las variables medidas en la mazorca, una vez que esta se encuentra en el granero y se le ha retirado el totomoxtle. La tercera categoría está compuesta por variables medidas en el grano y en el olote, y es discutida hasta el final en virtud de que la mazorca debe haber sido desgranada para medir estas variables. Las variables contenidas en cada una de las estas tres categorías son consideradas como variables explicativas del rendimiento en grano. La elección de las variables sensibles de utilizarse como criterios de selección, así como la elección del criterio cuantitativo a seguir con respecto a cada variable explicativa (rango de valores teóricamente benéficos al rendimiento en grano), tienen como única finalidad la selección dirigida al aumento en el rendimiento en grano, y en ese sentido, sólo el rendimiento en grano es tratado como variable dependiente. En virtud de que la discusión de cada una de las variables explicativas del rendimiento requerirá hacer referencia a toda la información tabular y gráfica, los cuadros y figuras se presentan juntos.

### **6.1.2. Análisis de grupos**

La primera exploración sistemática de la información consistió en la formación de grupos, o intervalos de clase, a partir del rango de valores de cada variable explicativa. Cada variable se dividió en 2 a 4 intervalos de clase de igual anchura, para los cuales se estimó el rendimiento en grano. Los Cuadros 1 a 3 muestran la información generada mediante el análisis de grupos.

En el Cuadro 1 se muestran los grupos en los que se dividió el rango de valores de cada variable morfológica, a manera de intervalos de clase; así como sus límites de clase (máximo y mínimo), el número de plantas que pertenecen cada intervalo y el rendimiento en grano promedio registrado para cada intervalo. En cada variable morfológica, se eligió aquel intervalo de clase cuyo rendimiento en grano fuera máximo. Los límites de clase del grupo sugerido para cada variable, constituyen el criterio cuantitativo de selección que deberá seguirse para esa variable.

En el Cuadro 2, se muestran los coeficientes de regresión para un modelo polinomial que explica el rendimiento en grano en función de cada variable explicativa, por separado, individual a manera de una regresión polinomial de grado  $n$ . Dada la enorme variabilidad fenotípica que presenta el maíz criollo de temporal, los modelos no se analizaron a profundidad, por ser solo indicativos del tipo de asociación entre las variables. Por ejemplo, los modelos polinomiales fueron en su mayoría de orden 4 (potencia), aun en casos en los que las variables mostraron una alta correlación lineal positiva.

En el Cuadro 3 se presenta el rango de valores que puede utilizarse como criterio cuantitativo de selección en cada una de las variables morfológicas medidas, así como el rendimiento promedio de grano registrado dentro de dicho rango. En el mismo cuadro, se muestra la correlación entre los valores medios de la variable explicativa, y el promedio de rendimiento en grano para el grupo sugerido.

### **6.1.3. Análisis con la información completa (sin agrupar en intervalos de clase)**

En el Cuadro 4 se muestra la matriz de correlaciones entre las variables morfológicas explicativas, incluyendo la correlación de estas con el rendimiento de grano. En este último cuadro, se utiliza la información completa, es decir, las 300 plantas evaluadas en campo; sin tomar en cuenta la información de grupos manejada en los Cuadros 1 a 3.

En el Cuadro 5 se anota la cantidad de plantas que podrían ser seleccionadas para semilla, considerando simultáneamente dos criterios cuantitativos de selección, es decir, tomando a la par los rangos de valores contenidos en el grupo sugerido para cada una de dos variables morfológicas. Antes de sumar las plantas que coincidían con dos criterios fue necesario aplicar el criterio de selección de cada una de las dos variables por separado, para lo cual se eligieron las mejores 50 plantas de entre la muestra de 300. En los casos en los que el grupo sugerido no contuviera 50 plantas, se eligió el número faltante de entre las plantas del grupo más cercano; pero si el número de plantas en el grupo sugerido rebasaba 50, se tomaron las 50 de un extremo del grupo.

En la Figura 1, se indica el número de plantas que hubieran sido seleccionadas de acuerdo con el criterio cuantitativo de selección sugerido para cada variable, entre las 50 plantas con el mayor rendimiento en grano. Para la construcción de esta figura, se consideraron todas las plantas del grupo elegido para cada variable explicativa, sin importar el número; no obstante, el número de plantas elegidas se incrementó a 50 cuando el grupo elegido contuviera menos de 50 plantas, pero cuando el grupo sugerido contenía más de 50 plantas, se tomaron todas las pertenecientes al grupo. Esta condición podría ser interpretada como una asociación mayor a la real, y ocurrió para las variables: altura de planta (162), número de hileras en la mazorca (115), peso de cien granos (107), ancho del grano (76) y diámetro del olote (68).

La discrepancia mayor entre el Cuadro 5 y la Figura 1 es evidente en la variable altura de planta, dado que el número de plantas en el grupo elegido para altura de planta fue de 162 de las 300. De acuerdo con lo anterior, más de la mitad de las plantas con mayor rendimiento serían sensibles de selección siguiendo el criterio de altura de planta, por azar simple.

#### **6.1.4. Prueba de independencia entre el rendimiento y las variables explicativas**

En el Cuadro 6 se muestran los valores de ji-cuadrada para una prueba de independencia entre el rendimiento en grano y cada una de las variables morfológicas. Para la prueba de independencia se utiliza la distribución de las plantas que serían seleccionadas en función al criterio cuantitativo de cada variable morfológica; primero, dentro de las 50 plantas con el mejor rendimiento, y después, dentro de las 250 plantas restantes. La prueba de independencia de ji cuadrada, ayuda a validar o descartar las asociaciones visuales mostradas en la Figura 1.

**Cuadro 1.** Grupos sugeridos por el software Octave, límite de clases de cada variable, su promedio, frecuencia y rendimiento promedio.

| Grupo                                 | Mín.  | Máx.  | Promedio de rango | Frecuencia | Rendimiento medio (g) | Error estándar |
|---------------------------------------|-------|-------|-------------------|------------|-----------------------|----------------|
| <b>Variables medidas en la planta</b> |       |       |                   |            |                       |                |
| Altura de la mazorca (m)              |       |       |                   |            |                       |                |
| 1                                     | 0.46  | 0.85  | 0.6               | 21         | 76.2 <sup>b</sup>     | 7.5            |
| 2                                     | 0.85  | 1.24  | 1.0               | 87         | 91.4 <sup>a</sup>     | 3.7            |
| 3                                     | 1.24  | 1.63  | 1.4               | 165        | 99.5 <sup>a</sup>     | 2.7            |
| 4*                                    | 1.63  | 2.02  | 1.8               | 27         | 104.7 <sup>a</sup>    | 6.6            |
| Altura relativa de la mazorca (m)     |       |       |                   |            |                       |                |
| 1*                                    | -1.1  | -0.6  | -0.8              | 22         | 102.6 <sup>a</sup>    | 7.4            |
| 2                                     | -0.6  | -0.1  | -0.3              | 172        | 98.8 <sup>a</sup>     | 2.6            |
| 3                                     | -0.1  | 0.4   | 0.1               | 103        | 90.6 <sup>a</sup>     | 3.4            |
| 4                                     | 0.4   | 0.9   | 0.6               | 3          | 94.3 <sup>a</sup>     | 20.0           |
| Diámetro del tallo (cm)               |       |       |                   |            |                       |                |
| 1                                     | 0.9   | 1.42  | 1.1               | 37         | 97.6 <sup>ab</sup>    | 5.7            |
| 2                                     | 1.42  | 1.95  | 1.7               | 101        | 96.5 <sup>ab</sup>    | 3.4            |
| 3                                     | 1.95  | 2.47  | 2.2               | 108        | 90.3 <sup>b</sup>     | 3.3            |
| 4*                                    | 2.47  | 3     | 2.7               | 54         | 105.3 <sup>a</sup>    | 4.7            |
| Número de raíces adventicias (No)     |       |       |                   |            |                       |                |
| 1                                     | 2     | 11    | 6.5               | 66         | 90.2 <sup>a</sup>     | 4.2            |
| 2                                     | 11    | 20    | 15.5              | 191        | 98.4 <sup>a</sup>     | 2.5            |
| 3*                                    | 20    | 29    | 24.5              | 31         | 97.3 <sup>a</sup>     | 6.2            |
| 4                                     | 29    | 38    | 33.5              | 12         | 86.1 <sup>a</sup>     | 10.0           |
| Número de espigas (No)                |       |       |                   |            |                       |                |
| 1                                     | 10.00 | 15.75 | 12.8              | 112        | 89.0 <sup>b</sup>     | 3.2            |
| 2                                     | 15.75 | 21.50 | 18.6              | 121        | 99.5 <sup>ab</sup>    | 3.1            |
| 3*                                    | 21.50 | 27.25 | 24.4              | 53         | 105.6 <sup>a</sup>    | 4.7            |
| 4                                     | 27.25 | 33.00 | 30.1              | 14         | 85.0 <sup>b</sup>     | 9.2            |
| Hojas arriba de la mazorca (No)       |       |       |                   |            |                       |                |
| 1                                     | 2     | 3.5   | 2.7               | 10         | 99.5 <sup>a</sup>     | 11.0           |
| 2                                     | 3.5   | 5     | 4.2               | 137        | 95.9 <sup>a</sup>     | 3.0            |
| 3                                     | 5     | 6.5   | 5.7               | 118        | 94.7 <sup>a</sup>     | 3.2            |
| 4*                                    | 6.5   | 8     | 7.2               | 35         | 99.8 <sup>a</sup>     | 5.9            |
| Altura de la planta (m)               |       |       |                   |            |                       |                |
| 1                                     | 1.01  | 1.59  | 1.3               | 27         | 84.26 <sup>b</sup>    | 6.6            |
| 2                                     | 1.59  | 2.17  | 1.8               | 82         | 95.77 <sup>ab</sup>   | 3.8            |
| 3*                                    | 2.17  | 2.75  | 2.5               | 162        | 100.5 <sup>a</sup>    | 2.7            |
| 4                                     | 2.75  | 3.33  | 3.0               | 29         | 82.6 <sup>b</sup>     | 6.4            |

**Cuadro 1. (Continuación).**

| Grupo                   | Mín. | Máx. | Promedio de rango | Frecuencia | Rendimiento medio  | Error estándar |
|-------------------------|------|------|-------------------|------------|--------------------|----------------|
| Acame (1:sí, 2:no)      |      |      |                   |            |                    |                |
| 1                       | -    | -    | Si                | 45         | 95.3 <sup>a</sup>  | 5.2            |
| 2                       | -    | -    | No                | 255        | 96.1 <sup>a</sup>  | 2.2            |
| Cuateo (1:sí, 2:no)     |      |      |                   |            |                    |                |
| 1                       | -    | -    | Si                | 8          | 106.6 <sup>a</sup> | 12.3           |
| 2                       | -    | -    | No                | 292        | 95.7 <sup>a</sup>  | 2.0            |
| Totomoxtle (1:no, 2:sí) |      |      |                   |            |                    |                |
| 1                       | -    | -    | Cerrado           | 295        | 96.1 <sup>a</sup>  | 2.0            |
| 2                       | -    | -    | Abierto           | 5          | 89.2 <sup>a</sup>  | 15.5           |

**Variables medidas en la mazorca**

|                                     |        |        |        |     |                    |     |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|-----|--------------------|-----|
| Peso de la mazorca (g)              |        |        |        |     |                    |     |
| 1                                   | 35.1   | 81.15  | 58.1   | 54  | 48.2 <sup>d</sup>  | 1.8 |
| 2                                   | 81.15  | 127.20 | 104.2  | 124 | 84.2 <sup>c</sup>  | 1.2 |
| 3                                   | 127.20 | 173.25 | 150.2  | 96  | 120.4 <sup>b</sup> | 1.3 |
| 4*                                  | 173.25 | 219.30 | 196.27 | 26  | 161.7 <sup>a</sup> | 2.6 |
| Diámetro de la mazorca (cm)         |        |        |        |     |                    |     |
| 1                                   | 2.8    | 3.4    | 3.1    | 22  | 60.1 <sup>d</sup>  | 5.6 |
| 2                                   | 3.4    | 4      | 3.7    | 131 | 77.8 <sup>c</sup>  | 2.3 |
| 3                                   | 4      | 4.6    | 4.3    | 128 | 113.8 <sup>b</sup> | 2.3 |
| 4*                                  | 4.6    | 5.2    | 4.9    | 19  | 141.6 <sup>a</sup> | 6.1 |
| Largo de la mazorca (cm)            |        |        |        |     |                    |     |
| 1                                   | 8.5    | 11.67  | 10.09  | 26  | 52.8 <sup>c</sup>  | 5.7 |
| 2                                   | 11.67  | 14.85  | 13.26  | 98  | 81.4 <sup>b</sup>  | 2.9 |
| 3                                   | 14.85  | 18.02  | 16.43  | 133 | 108.2 <sup>a</sup> | 2.5 |
| 4*                                  | 18.02  | 21.2   | 19.61  | 43  | 117.7 <sup>a</sup> | 4.4 |
| Número de hilera en la mazorca (No) |        |        |        |     |                    |     |
| 1                                   | 8      | 10     | 9      | 79  | 84.8 <sup>b</sup>  | 3.6 |
| 2                                   | 10     | 12     | 11     | 106 | 86.2 <sup>b</sup>  | 3.1 |
| 3*                                  | 12     | 14     | 13     | 101 | 111.5 <sup>a</sup> | 3.2 |
| 4                                   | 14     | 16     | 15     | 14  | 121.1 <sup>a</sup> | 8.6 |

**Cuadro 1.** (Continuación).

| Grupo                                              | Mín.  | Máx.  | Promedio<br>de rango | Frecuencia | Rendimiento<br>medio | Error<br>estándar |
|----------------------------------------------------|-------|-------|----------------------|------------|----------------------|-------------------|
| <b>Variables medidas en el grano y en el olote</b> |       |       |                      |            |                      |                   |
| Peso del olote (g)                                 |       |       |                      |            |                      |                   |
| 1                                                  | 6.1   | 19.12 | 12.61                | 108        | 82.2 <sup>b</sup>    | 3.1               |
| 2                                                  | 19.12 | 32.15 | 25.63                | 164        | 101.0 <sup>ab</sup>  | 2.6               |
| 3*                                                 | 32.15 | 45.17 | 38.66                | 25         | 123.1 <sup>a</sup>   | 6.6               |
| 4                                                  | 45.17 | 58.2  | 51.68                | 3          | 99.5 <sup>b</sup>    | 18.9              |
| Diámetro del olote (cm)                            |       |       |                      |            |                      |                   |
| 1                                                  | 1.8   | 2.3   | 2.05                 | 55         | 80.8 <sup>b</sup>    | 4.5               |
| 2                                                  | 2.3   | 2.8   | 2.55                 | 171        | 94.8 <sup>ab</sup>   | 2.6               |
| 3*                                                 | 2.8   | 3.3   | 3.05                 | 68         | 110.8 <sup>a</sup>   | 4.1               |
| 4                                                  | 3.3   | 3.8   | 3.55                 | 6          | 101.5 <sup>ab</sup>  | 13.7              |
| Largo del olote (cm)                               |       |       |                      |            |                      |                   |
| 1                                                  | 10.7  | 13.92 | 12.31                | 20         | 55.2 <sup>c</sup>    | 7.1               |
| 2                                                  | 13.92 | 17.15 | 15.53                | 115        | 87.7 <sup>b</sup>    | 2.9               |
| 3                                                  | 17.15 | 20.37 | 18.76                | 136        | 105.5 <sup>a</sup>   | 2.7               |
| 4*                                                 | 20.37 | 23.6  | 21.98                | 29         | 112.6 <sup>a</sup>   | 5.9               |
| Peso de cien granos (g)                            |       |       |                      |            |                      |                   |
| 1                                                  | 13    | 21.5  | 17.25                | 16         | 69.4 <sup>b</sup>    | 8.4               |
| 2                                                  | 21.5  | 30    | 25.75                | 177        | 92.2 <sup>ab</sup>   | 2.5               |
| 3*                                                 | 30    | 38.5  | 34.25                | 102        | 105.8 <sup>a</sup>   | 3.3               |
| 4                                                  | 38.5  | 47    | 42.75                | 5          | 115.6 <sup>a</sup>   | 15.0              |
| Ancho del grano (cm)                               |       |       |                      |            |                      |                   |
| 1                                                  | 0.05  | 0.31  | 0.18                 | 3          | 45.0 <sup>c</sup>    | 15.8              |
| 2                                                  | 0.31  | 0.57  | 0.44                 | 67         | 68.0 <sup>c</sup>    | 3.3               |
| 3                                                  | 0.57  | 0.83  | 0.7                  | 154        | 93.5 <sup>b</sup>    | 2.2               |
| 4*                                                 | 0.83  | 1.12  | 0.97                 | 76         | 127.8 <sup>a</sup>   | 3.1               |
| Largo del grano (cm)                               |       |       |                      |            |                      |                   |
| 1                                                  | 0.73  | 0.96  | 0.86                 | 82         | 85.9 <sup>b</sup>    | 3.8               |
| 2                                                  | 0.96  | 1.19  | 1.07                 | 182        | 99.5 <sup>a</sup>    | 2.5               |
| 3*                                                 | 1.19  | 1.65  | 1.42                 | 36         | 101.6 <sup>a</sup>   | 5.7               |

\*: Grupo sugerido, a, b, c y d: Media de rendimiento con diferente literal representan diferencia estadística ( $P < 0.05$ , prueba de Tukey).

**Cuadro 2.** Coeficientes de regresión, de acuerdo con el software Octave, para predecir el rendimiento en grano a partir cada una de las características morfológicas medidas en la planta y en la mazorca de maíz criollo de temporal.

| Variable                                        | * | $\beta_0$ | $\beta_1$ | $\beta_2$ | $\beta_3$ | $\beta_4$ |
|-------------------------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>Variables medidas en la planta</b>           |   |           |           |           |           |           |
| Altura de la mazorca                            | 3 | 11.6      | -59.8     | 115.07    | 23.2      |           |
| Altura relativa de la mazorca                   | 3 | -69.0     | -98.4     | -42.9     | 93.7      |           |
| Diámetro del tallo                              | 3 | 30.3      | -162.6    | 274.8     | -49.7     |           |
| Número de raíces adventicias                    | 3 | -0.0002   | -0.05     | 2.04      | 79.0      |           |
| Número de Espigas                               | 3 | -0.02     | 1.02      | -15.8     | 164.2     |           |
| Hojas arriba de la mazorca                      | 3 | 0.2       | -1.9      | 3.6       | 99.7      |           |
| Altura de la planta                             | 4 | 5.6       | -32.8     | 54.0      | 0         | 51.1      |
| <b>Variables medidas en la mazorca</b>          |   |           |           |           |           |           |
| Peso de la mazorca                              | 3 | 8.2       | -0.002    | 1.0       | -4.3      |           |
| Diámetro de la mazorca                          | 3 | -3.9      | 41.9      | 0         | 318.2     |           |
| Largo de la mazorca                             | 3 | -0.0001   | 0.005     | -0.1      | 1         |           |
| Número de hileras en la mazorca                 | 3 | -0.07     | 2.7       | -33.4     | 141.5     |           |
| <b>Variables medidas en el grano y el olote</b> |   |           |           |           |           |           |
| Peso del olote                                  | 3 | -0.0002   | 0.01      | -0.7      | 12.9      |           |
| Diámetro del olote                              | 4 | -1.4      | 6.8       | 0         | -22.5     | 0         |
| Largo del olote                                 | 3 | 0.0003    | -0.01     | 0.3       | -1.2      |           |
| Ancho del grano                                 | 3 | 1.6       | -0.004    | 1.3       | 1.5       |           |
| Largo del grano                                 | 4 | 0.52      | 0         | 0.04      | 0         | 43.3      |

\*: Grado del polinomio,  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ : Coeficiente de regresión de acuerdo con un modelo polinomial de tipo  $Y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \beta_4 x^4 + \epsilon$

**Cuadro 3.** Criterios cuantitativos de selección, rendimiento en grano y coeficiente de correlación para la asociación entre cada variable morfológica y el rendimiento, en maíz criollo de temporal, de acuerdo con los resultados del software Octave.

| Variable                               | Criterio cuantitativo | Rendimiento (g) | Correlación     | R <sup>2</sup>    | n   |
|----------------------------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----|
| <b>Variables medidas en la planta</b>  |                       |                 |                 |                   |     |
| Altura de la mazorca                   | 1.6 a 2 m             | 105±6.6         | 0.97 (P=0.02)   | 0.039 (P=0.0007)  | 27  |
| Altura relativa de la mazorca          | -1.1 a -0.6 cm        | 102±0.8         | -0.79 (P=0.2)   | 0.016 (P=0.18)    | 22  |
| Diámetro del tallo                     | 2.5 a 3 cm            | 105±4.7         | 0.35 (P=0.64)   | 0.023 (P=0.076)   | 54  |
| Número de raíces adventicias           | 20 a 29               | 97±6.2          | 0.30 (P=0.70)   | 0.012 (P=0.28)    | 31  |
| Número de espigas                      | 22 a 27               | 106±4.7         | -0.08 (P=0.92)  | 0.037 (P=0.0098)  | 53  |
| Hojas arriba de la mazorca             | 6 a 8                 | 100±5.9         | -0.01 (P=0.98)  | 0.0023 (P=0.87)   | 35  |
| Altura de la planta                    | 2.1 a 2.7 m           | 100±2.7         | -0.003 (P=0.99) | 0.034 (P=0.017)   | 162 |
| Acame                                  | -                     | -               | 0.0005 (P=0.1)  | 0.000007 (P=0.88) |     |
| Cuateo                                 | -                     | -               | -0.07 (P=0.92)  | 0.0025 (P=0.40)   |     |
| Totomoxtle                             | -                     | -               | -0.05 (P=0.95)  | 0.004 (P=0.22)    |     |
| <b>Variables medidas en la mazorca</b> |                       |                 |                 |                   |     |
| Peso de la mazorca                     | 173 a 219 g           | 162±2.6         | 0.99 (P=0.006)  | 0.08 (P=0.0001)   | 26  |
| Diámetro de la mazorca                 | 4.6 a 5 cm            | 143±6.0         | 0.99 (P=0.0075) | 0.42 (P=0.0001)   | 19  |
| Largo de la mazorca                    | 18 a 21 cm            | 118±4.4         | 0.97 (P=0.02)   | 0.30 (P=0.0001)   | 43  |
| Número de hileras en la mazorca        | 12 a 14               | 121±3.2         | 0.95 (P=0.04)   | 0.14 (P=0.0001)   | 101 |

**Cuadro 3.** (Continuación)

| Variable                                        | Criterio cuantitativo | Rendimiento | Correlación     | R <sup>2</sup>   | n   |
|-------------------------------------------------|-----------------------|-------------|-----------------|------------------|-----|
| <b>Variables medidas en el grano y el olote</b> |                       |             |                 |                  |     |
| Peso del olote                                  | 32 a 45 g             | 123±6.5     | 0.56 (P=0.43)   | 0.11 (P=0.0001)  | 25  |
| Diámetro del olote                              | 2.8 a 3.3 cm          | 111±4.0     | -0.11 (P=0.89)  | 0.077 (P=0.0001) | 68  |
| Largo del olote                                 | 20 a 23 cm            | 113±5.9     | 0.95 (P=0.04)   | 0.17 (P=0.0001)  | 29  |
| Peso de cien granos                             | 30 a 38 g             | 106±3.3     | 0.98 (P=0.01)   | 0.071 (P=0.0001) | 102 |
| Ancho del grano                                 | 0.8 a 1.1 cm          | 128±3.1     | 0.99 (P=0.0036) | 0.38 (P=0.0001)  | 76  |
| Largo del grano                                 | 1.19 a 1.6 cm         | 101±5.7     | 0.85 (P=0.34)   | 0.038 (P=0.0075) | 35  |

**Cuadro 4.** Correlación entre algunas de las variables morfológicas de la planta de maíz; mazorca, grano y olote con el rendimiento de una población de maíz criollo de temporal en Ley de Reforma Agraria, Isla, Veracruz.

|     | AM            | ARM             | DT            | NRA           | NE              | HAM           | AP             | PM              | DM             | LM              | NHM            | P100           | LO              | AG             | LG            | PO             | DO             |
|-----|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|---------------|----------------|----------------|
| RG  | 0.18<br>0.002 | -0.12<br>0.03   | 0.07<br>0.2   | 0.06<br>0.28  | 0.14<br>0.01    | -0.02<br>0.71 | 0.07<br>0.2    | 0.98<br><.0001  | 0.72<br><.0001 | 0.54<br><.0001  | 0.36<br><.0001 | 0.33<br><.0001 | 0.40<br><.0001  | 0.65<br><.0001 | 0.16<br>0.006 | 0.38<br><.0001 | 0.27<br><.0001 |
| AM  |               | -0.73<br><.0001 | 0.59<br>0.3   | 0.07<br>0.18  | 0.22<br>0.0001  | 0.08<br>0.17  | 0.32<br><.0001 | 0.20<br>0.0004  | 0.17<br>0.002  | 0.30<br><.0001  | 0.05<br>0.34   | 0.06<br>0.26   | 0.24<br><.0001  | 0.13<br>0.01   | 0.07<br>0.17  | 0.21<br>0.0003 | 0.09<br>0.11   |
| ARM |               |                 | 0.032<br>0.57 | -0.06<br>0.25 | -0.26<br><.0001 | -0.09<br>0.1  | 0.40<br><.0001 | -0.13<br>0.02   | -0.06<br>0.3   | -0.21<br>0.0002 | -0.006<br>0.91 | -0.1<br>0.07   | -0.25<br><.0001 | -0.08<br>0.14  | -0.022<br>0.7 | -0.11<br>0.04  | 0.01<br>0.88   |
| DT  |               |                 |               | 0.15<br>0.007 | -0.03<br>0.58   | -0.02<br>0.68 | 0.12<br>0.03   | 0.09<br>0.11    | 0.08<br>0.13   | 0.22<br>0.0001  | 0.01<br>0.81   | 0.03<br>0.56   | 0.16<br>0.006   | 0.04<br>0.42   | 0.04<br>0.4   | 0.12<br>0.02   | 0.06<br>0.26   |
| NRA |               |                 |               |               | 0.13<br>0.02    | 0.04<br>0.51  | 0.01<br>0.84   | 0.08<br>0.17    | 0.12<br>0.02   | 0.03<br>0.55    | 0.04<br>0.43   | 0.07<br>0.18   | 0.08<br>0.16    | 0.1<br>0.07    | 0.04<br>0.46  | 0.11<br>0.03   | 0.05<br>0.37   |
| NE  |               |                 |               |               |                 | 0.05<br>0.25  | -0.07<br>0.23  | 0.15<br>0.006   | 0.13<br>0.02   | 0.12<br>0.03    | -0.01<br>0.84  | 0.13<br>0.02   | 0.20<br>0.0004  | 0.08<br>0.12   | 0.12<br>0.03  | 0.16<br>0.004  | 0.07<br>0.18   |
| HAM |               |                 |               |               |                 |               | -0.02<br>0.71  | -0.0003<br>0.99 | -0.01<br>0.86  | 0.16<br>0.004   | -0.01<br>0.85  | -0.02<br>0.7   | 0.23<br><.0001  | -0.02<br>0.75  | 0.005<br>0.92 | 0.09<br>0.09   | 0.01<br>0.92   |
| AP  |               |                 |               |               |                 |               |                | 0.09<br>0.12    | 0.15<br>0.007  | 0.11<br>0.04    | 0.06<br>0.26   | -0.05<br>0.33  | -0.02<br>0.73   | 0.06<br>0.25   | 0.07<br>0.19  | 0.11<br>0.04   | 0.13<br>0.02   |
| PM  |               |                 |               |               |                 |               |                |                 | 0.76<br><.0001 | 0.57<br><.0001  | 0.40<br><.0001 | 0.34<br><.0001 | 0.46<br><.0001  | 0.60<br><.0001 | 0.15<br>0.006 | 0.54<br><.0001 | 0.37<br><.0001 |

RG: rendimiento del grano, AM: altura de la mazorca, ARM: altura relativa de la mazorca, DT: diámetro de tallo, NRA: número de raíces adventicias, NE: número de espigas, HAM: hojas arriba de la mazorca, AP: altura de la planta, PM: peso de la mazorca, DM: diámetro de la mazorca, LM: largo de la mazorca, NHM: número de hileras en la mazorca, P100: peso de 100 granos, LO: largo del olote, AG: ancho del grano, LG: largo del grano, PO: peso del olote y DO: diámetro del olote.

**Cuadro 4.** (Continuación)

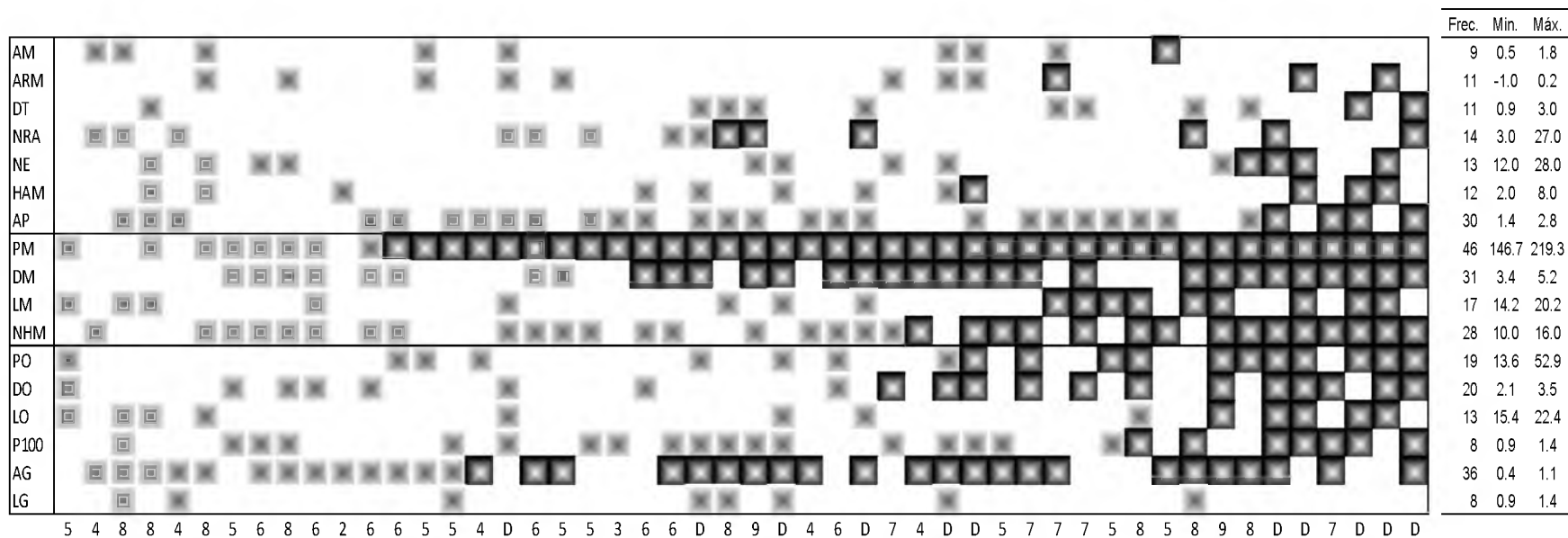
|      | AM | ARM | DT | NRA | NE | HAM | AP | PM | DM | LM             | NHM            | P100           | LO             | AG             | LG              | PO             | DO             |
|------|----|-----|----|-----|----|-----|----|----|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|
| DM   |    |     |    |     |    |     |    |    |    | 0.30<br><.0001 | 0.62<br><.0001 | 0.22<br>0.0001 | 0.25<br><.0001 | 0.65<br><.0001 | 0.07<br>0.2     | 0.54<br><.0001 | 0.63<br><.0001 |
| LM   |    |     |    |     |    |     |    |    |    |                | 0.05<br>0.34   | 0.20<br>0.0003 | 0.81<br><.0001 | 0.20<br>0.0004 | 0.18<br>0.0017  | 0.43<br><.0001 | 0.17<br>0.002  |
| NHM  |    |     |    |     |    |     |    |    |    |                |                | -0.15<br>0.006 | 0.05<br>0.33   | 0.33<br><.0001 | -0.72<br><.0001 | 0.30<br><.0001 | 0.47<br><.0001 |
| P100 |    |     |    |     |    |     |    |    |    |                |                |                | 0.24<br><.0001 | 0.15<br>0.007  | 0.40<br><.0001  | 0.22<br>0.0001 | 0.12<br>0.02   |
| LO   |    |     |    |     |    |     |    |    |    |                |                |                |                | 0.13<br>0.01   | 0.13<br>0.02    | 0.49<br><.0001 | 0.18<br>0.001  |
| AG   |    |     |    |     |    |     |    |    |    |                |                |                |                |                | 0.15<br>0.007   | 0.03<br>0.54   | -0.17<br>0.002 |
| LG   |    |     |    |     |    |     |    |    |    |                |                |                |                |                |                 | 0.06<br>0.26   | -0.06<br>0.28  |
| PO   |    |     |    |     |    |     |    |    |    |                |                |                |                |                |                 |                | 0.67<br><.0001 |

RG: rendimiento del grano, AM: altura de la mazorca, ARM: altura relativa de la mazorca, DT: diámetro de tallo, NRA: número de raíces adventicias, NE: número de espigas, HAM: hojas arriba de la mazorca, AP: altura de la planta, PM: peso de la mazorca, DM: diámetro de la mazorca, LM: largo de la mazorca, NHM: número de hileras en la mazorca, P100: peso de 100 granos, LO: largo del olote, AG: ancho del grano, LG: largo del grano, PO: peso del olote y DO: diámetro del olote.

**Cuadro 5.** Número de plantas de maíz criollo de temporal que podrían ser objeto de selección para semilla en función a los criterios cuantitativos de selección.

|      | AM | ARM | DT | NRA | NE | HAM | AP | PM | DM | LM | NHM | P100 | LO | AG | LG | PO | DO |
|------|----|-----|----|-----|----|-----|----|----|----|----|-----|------|----|----|----|----|----|
| RG   | 9  | 11  | 11 | 14  | 13 | 12  | 9  | 46 | 31 | 17 | 28  | 16   | 13 | 31 | 8  | 19 | 16 |
| AM   |    | 26  | 12 | 12  | 9  | 12  | 4  | 9  | 6  | 10 | 6   | 7    | 12 | 8  | 11 | 10 | 12 |
| ARM  |    |     | 5  | 7   | 13 | 15  | 1  | 11 | 8  | 11 | 8   | 9    | 14 | 3  | 5  | 11 | 12 |
| DT   |    |     |    | 9   | 8  | 16  | 8  | 13 | 15 | 14 | 13  | 14   | 8  | 16 | 9  | 13 | 10 |
| NRA  |    |     |    |     | 10 | 11  | 16 | 7  | 10 | 8  | 9   | 11   | 8  | 12 | 11 | 11 | 8  |
| NE   |    |     |    |     |    | 23  | 4  | 8  | 15 | 7  | 11  | 13   | 13 | 9  | 10 | 17 | 11 |
| HAM  |    |     |    |     |    |     | 3  | 11 | 13 | 12 | 10  | 9    | 16 | 9  | 9  | 16 | 10 |
| AP   |    |     |    |     |    |     |    | 9  | 10 | 8  | 11  | 13   | 5  | 8  | 11 | 7  | 7  |
| PM   |    |     |    |     |    |     |    |    | 32 | 18 | 28  | 15   | 13 | 24 | 6  | 22 | 19 |
| DM   |    |     |    |     |    |     |    |    |    | 12 | 43  | 18   | 9  | 24 | 7  | 22 | 22 |
| LM   |    |     |    |     |    |     |    |    |    |    | 10  | 14   | 31 | 10 | 15 | 17 | 12 |
| NHM  |    |     |    |     |    |     |    |    |    |    |     | 12   | 18 | 16 | 0  | 18 | 20 |
| P100 |    |     |    |     |    |     |    |    |    |    |     |      | 12 | 14 | 13 | 15 | 12 |
| LO   |    |     |    |     |    |     |    |    |    |    |     |      |    | 9  | 9  | 11 | 11 |
| AG   |    |     |    |     |    |     |    |    |    |    |     |      |    |    | 10 | 14 | 7  |
| LG   |    |     |    |     |    |     |    |    |    |    |     |      |    |    |    | 8  | 3  |
| PO   |    |     |    |     |    |     |    |    |    |    |     |      |    |    |    |    | 27 |

RG: rendimiento del grano, AM: altura de la mazorca, ARM: altura relativa de la mazorca, DT: diámetro del tallo, NRA: número de raíces adventicias, NE: número de espigas, HAM: hojas arriba de la mazorca, AP: altura de la planta, PM: peso de la mazorca, DM: diámetro de la mazorca, LM: largo de la mazorca, NHM: número de hileras en la mazorca, P100: peso de 100 granos, LO: largo del olote, AG: ancho del grano, LG: largo del grano, PO: peso del olote y DO: diámetro del olote. Cada celda contiene el número de plantas que fueron seleccionadas de acuerdo con un criterio cuantitativo asociado a cada una de las dos variables morfológicas en cuestión. Con tal de que los números fueran comparables, se incluyeron solo las 50 mejores plantas, de entre un total de 300 (1/6), para cada una de las variables morfológicas consideradas.



**Figura 1.** Plantas que fueron seleccionadas con base en los criterios cuantitativos sugeridos por el software octave entre las 50 plantas que efectivamente presentaron el mayor rendimiento, partiendo de una muestra total de 300 individuos.

En el margen derecho se presenta la frecuencia de las plantas seleccionadas entre las 50 con mejor rendimiento, además del valor mínimo y máximo registrados según los criterios cuantitativos para cada variable morfológica.

AM: altura de la mazorca, ARM: altura relativa de la mazorca, DT: diámetro del tallo, NRA: número de raíces adventicias, NE: número de espigas, HAM: hojas arriba de la mazorca, AP: altura de la planta, PM: peso de la mazorca, LM: largo de la mazorca, DM: diámetro de la mazorca, NHM: número de hileras en la mazorca, PO: peso del olote, DO: diámetro del olote, LO: largo del olote, P100: peso de 100 granos, AG: ancho del grano y LG: largo del grano. D: diez.

**Cuadro 6.** Prueba de independencia ( $\chi^2$ ) entre rendimiento en grano y diversas variables morfológicas de maíz criollo de temporal.

| Variables | $\chi^2$ | $\alpha$ | Plantas<br>seleccionadas<br>en el grupo | Plantas totales<br>seleccionadas |
|-----------|----------|----------|-----------------------------------------|----------------------------------|
| AM        | 0.1      | 0.78     | 9                                       | 50                               |
| ARM       | 1.2      | 0.27     | 11                                      | 50                               |
| DT        | 0.6      | 0.42     | 11                                      | 54                               |
| NRA       | 5.5      | 0.02     | 14                                      | 50                               |
| NE        | 2.9      | 0.09     | 13                                      | 53                               |
| HAM       | 2.3      | 0.12     | 12                                      | 50                               |
| AP        | 0.9      | 0.35     | 30                                      | 162                              |
| PM        | 245.2    | <0.0001  | 46                                      | 50                               |
| DM        | 88.8     | <0.001   | 31                                      | 50                               |
| LM        | 13       | <0.0003  | 17                                      | 50                               |
| NHM       | 22.3     | <0.0001  | 34                                      | 115                              |
| PO        | 19.7     | <0.0001  | 19                                      | 50                               |
| DO        | 10.3     | 0.001    | 20                                      | 68                               |
| LO        | 3.8      | 0.05     | 13                                      | 50                               |
| P100      | 2.8      | 0.05     | 25                                      | 107                              |
| AG        | 69.1     | 0.0001   | 36                                      | 76                               |
| LG        | 0.1      | 0.89     | 8                                       | 50                               |

AM: altura de la mazorca, ARM: altura relativa de la mazorca, DT: diámetro del tallo, NRA: número de raíces adventicias, NE: número de espigas, HAM: hojas arriba de la mazorca, AP: altura de la planta, PM: peso de la mazorca, LM: largo de la mazorca, DM: diámetro de la mazorca, NHM: número de hileras en la mazorca, PO: peso del olote, DO: diámetro del olote, LO: largo del olote, P100: peso de 100 granos, AG: ancho del grano y LG: largo del grano.

## **6.2. Variables medidas en la planta**

Esta categoría comprende las variables: altura de la mazorca (AM), altura relativa de la mazorca (ARM), diámetro de tallo (DT), número de raíces adventicias (NRA), número de espigas (NE), hojas arriba de la mazorca (HAM), altura de la planta (AP), acame (Ac), cuateo (Cu) y posición del totomoxtle (To).

Para minimizar el error de ajuste de un modelo polinomial de orden  $n$  (Cuadro 2), el rango de valores registrado para las primeras nueve variables enumeradas arriba se dividió en cuatro intervalos de clase o grupos. Para las últimas tres variables de esa lista, se clasificó en dos grupos (Cuadro 1).

Cuando se analiza el número de plantas que cumplen el criterio cuantitativo de selección (Cuadro 3) de cada variable medida en la planta, que efectivamente se encuentran entre las 50 plantas (de 300) con el mejor RG (Cuadro 1 y Figura 1), resultó que sólo 9 a 14 de las 50 plantas con mayor RG hubieran sido seleccionadas con base en los criterios cuantitativos de las variables AM, ARM, DT, NRA, NE, HAM y AP.

Ninguna de las variables medidas en la planta presentó una asociación importante con el rendimiento en grano, por lo que la selección de individuos en el campo se limita a verificar las condiciones elementales de la selección masal estratificada, que son: la representación de toda el área de cultivo, que la planta se encuentre bajo competencia completa y que tanto esta como sus vecinas poseen órganos completos.

### 6.2.1. Altura de la mazorca (AM)

Existe una asociación positiva de baja magnitud entre el RG y la AM, de acuerdo con la correlación (Cuadro 4;  $P < 0.05$ ). No obstante, se registró una mayor correlación entre el RG y la AM cuando se usaron sólo los promedios de las variables en cada uno de los cuatro intervalos (Cuadro 3).

De acuerdo con el RG de los grupos sugeridos por el modelo polinomial (Cuadro 2), una mayor AM parece asociarse con el rendimiento (Cuadro 1); por ejemplo, el grupo 1 presentó un rendimiento inferior a los grupos 1,2 y 3. Por otra parte, la correlación entre el RG y la AM resultó positiva, aunque de bajo orden (Cuadro 4) mientras que la efectividad de la selección con base al criterio para la AM no fue efectiva (Figura 1 y Cuadro 5). Por lo anterior, no se considera adecuado tomar la AM como criterio de selección en campo. De hecho, en un trabajo previo se menciona que las plantas con mazorca baja presentan mayor RG (Vera y Crane, 1970). Mientras que, en otro estudio, una mayor AM supuso un menor RG (Bashir *et al.*, 2003). Ambos estudios contradicen nuestros resultados. Esta variable puede asociarse al acame, dado que mayores AM hacen que la planta sea susceptible a ser doblada a causa de vientos y lluvias (Ramirez, 2013). La altura de la mazorca muestra una alta variabilidad genética aditiva (Robinson *et al.*, 1955).

### **6.2.2. Altura relativa de la mazorca (ARM)**

Los valores negativos de la ARM, calculada con base en la AP y la AM, tienden a asociarse con un aumento en el rendimiento (Cuadro 1). En general los resultados discutidos para AM son también válidos para ARM. No obstante, la asociación es mejor demostrada por la AM sin modificar. En ambos casos, el RG es mayor cuando la AM es mayor, pero el RG de los grupos en que se dividió la ARM no difieren significativamente en su rendimiento. Lo anterior contradice las recomendaciones de la FAO respecto a que para la selección de semilla es adecuado elegir las plantas cuya ARM sea cercana a cero, es decir, con la mazorca en el centro de la planta (FAO, s/f).

### **6.2.3. Diámetro del tallo (DT)**

El DT no mostró una asociación consistente con el RG, dado que no hubo diferencia en el rendimiento entre DT cercanos a 1 y DT cercanos a 3 cm. Mientras que, paradójicamente, valores entre 2 y 2.5 cm se asociaron con un menor rendimiento (Cuadro 1). Por otra parte, la correlación entre el DT y el RG, ya sea utilizando los promedios de los grupos (Cuadro 3) o la información completa (Cuadro 4), no fue significativa ( $P > 0.05$ ).

El número de plantas sensibles de selección siguiendo el grupo con mayor RG, que efectivamente se encontraba entre las 50 con mejor RG, fue de once individuos (Cuadro 5 y Figura 1). Este número de coincidencias es apenas dos unidades mayores al que se esperaría por azar simple, por lo que la prueba de ji cuadrada mostró que RG y DT son variables independientes en nuestros datos.

#### **6.2.4. Número de raíces adventicias (NRA)**

De acuerdo con el RG registrado para cada uno de los grupos en los que se dividió el rango de valores del NRA, menos de 11 o más de 29 raíces resultarían en una reducción en el rendimiento. Una prueba de ji cuadrada mostró que las 14 coincidencias entre el NRA y RG, son suficientes para considerar asociación entre las variables (Cuadro 6). Sin embargo, como técnicos no podemos aceptar que el NRA se utilice para la selección en campo, dado que de las 14 plantas que coinciden en los criterios NRA y RG, 9 pertenecerían a este conjunto, aunque las variables no estuvieran asociadas. Además, el trabajo de campo no se justifica si la ventaja en la selección es de tan solo 10% al utilizar este criterio de manera individual. Las raíces adventicias se encargan de reforzar el anclaje de la planta (Ribaut y Pilet, 1991) por lo que se asume que están más relacionadas con el soporte que con el RG.

#### **6.2.5. Número de espigas (NE)**

Valores intermedios en el número de ramificaciones de la inflorescencia, NE, promovieron un mayor RG, de acuerdo con el RG registrado para cada uno de los grupos en los que se dividió el rango del NE. De acuerdo con esto, solo las plantas con 20 a 27 espigas presentaron mayor RG (Cuadro 1). Existe una asociación positiva débil entre el RG y el NE, dada su correlación (Cuadro 4;  $P < 0.05$ ), mientras que el número de coincidencias de individuos que cumplen con los dos criterios de selección (RG y NE) indica que las variables no están asociadas, como lo marca también la prueba de independencia (Cuadro 6 y Figura 1). El descartar inflorescencias con un NE reducido de la selección

contradice el hecho de que la ausencia de espiga faculta un aumento en el rendimiento, en virtud de que la energía dedicada a la inflorescencia es dirigida a llenado de grano (Espinosa *et al.*, 2010; López, 1991). Sin embargo, una inflorescencia con un NE reducido podría también asociarse con una planta de crecimiento incompleto, por lo que el resto de sus órganos tendrían también un crecimiento limitado.

#### **6.2.6. Hojas arriba de la mazorca (HAM)**

No hubo diferencias en el rendimiento para los diferentes grupos en que se dividió el rango de HAM (Cuadro 1). La correlación entre RG y HAM no fue significativa, ni dentro de los grupos ni para las 300 plantas disponibles (Cuadros 3 y 4). Finalmente, el número de plantas seleccionadas a la vez por tener un alto RG y en función al criterio cuantitativo elegido (mayor DT, grupo 4) fue solo de 12. Por lo anterior, la prueba de ji cuadrada mostró que el número de HAM y el RG son independientes.

En un trabajo de investigación, el rendimiento en grano se redujo al eliminar hojas arriba de la mazorca, pero no se modificó al eliminar aquellas bajo la mazorca (Tanaka y Yamaguchi, 1984). No obstante, no se ha propuesto ninguna evaluación del efecto que número de hojas existentes arriba de la mazorca pueda tener en la producción. La justificación para la inclusión de esta variable radica en que la fotosíntesis es la responsable de la ganancia de peso y el llenado de grano, y que esta es en su mayor parte llevada a cabo por las hojas (INTAGRI, 2017). Un estudio propuso que las hojas arriba de la mazorca determinan el desarrollo de la mazorca y del grano, y que las que se encuentran por debajo de

la mazorca están directamente relacionadas con el desarrollo radicular (Aldape, 1995).

#### **6.2.7. Altura de la planta (AP)**

De acuerdo con el rendimiento de los grupos designados para AP (Cuadro 1) la AP se asocia positivamente con el rendimiento en plantas cuya AP sea menor a 2.75 m, mientras que las plantas que superen este valor, deberían ser descartadas. Lo anterior coincide con un estudio previo, en el que plantas de alta talla se asocian con un menor rendimiento (Rahman *et al.*, 2017), probablemente en función de que la altura puede ser promovida por competencia intraespecífica. Por otra parte, en plantas con crecimiento ordenado y sin mucha competencia por nutrientes, nuestra hipótesis es que una planta con un mayor desarrollo (AP, DT y peso) debería dar un mayor RG; esto con base en estudios previos (Fassio *et al.*, 1998; Troyer y Brown, 1976).

En la Figura 1, la AP parece tener una asociación importante con el rendimiento, dado que 27 de las 50 plantas elegidas por RG pertenecen al grupo sugerido para AP; pero esta falsa asociación es evidente cuando notamos que el grupo elegido para AP contiene más de la mitad de las 300 plantas estudiadas, y por tanto es normal que la mitad de cualquier subgrupo posea esta característica. Además, una nula correlación entre AP y RG (Cuadro 4), un bajo número de coincidencias al acotar la selección a 50 plantas dentro de cada variable (Cuadro 5) y la independencia entre las variables AP y RG (Cuadro 6) permiten descartar a la AP como criterio de selección en campo.

#### **6.2.8. Acame (Ac), cuateo (Cu) y posición del totomoxtle (To)**

La división de las variables de Ac, Cu y To resultó únicamente en dos grupos, en todos los casos. El RG no difirió entre grupos, dado el elevado error estándar en las medias y la consecuente heterogeneidad de varianzas y tamaños de muestra para la comparación. Una condición adicional que limitó el uso de estas variables como criterios para la selección fue el reducido número de plantas que presentaron cuateo o totomoxtle cerrado (Cuadro 1).

Ninguna de las tres variables morfológicas binomiales (Ac, Cu o To) fueron útiles para establecer criterios de selección dirigida al aumento del rendimiento en grano.

#### **6.3. Variables medidas en la mazorca**

Esta categoría comprende las variables: peso de la mazorca (PM), diámetro de la mazorca (DM), largo de la mazorca (LM) y número de hileras en la mazorca (NHM).

La optimización del modelo de regresión polinomial sugirió siempre dividir el rango de valores de cada una de las cuatro variables medidas en la mazorca (PM, DM, LM y NHM), en cuatro grupos o intervalos de clase; donde los mayores rendimientos ocurren rutinariamente en los grupos tres y cuatro, que son los intervalos de clase con valores de mayor magnitud (Cuadro 1). La asociación entre el RG y las cuatro variables medidas en la mazorca fue siempre significativa y de acuerdo con el coeficiente de correlación de Pearson, el RG presenta una asociación alta y directamente proporcional con cada una de las variables

medidas en la mazorca. De acuerdo con esto, mayores valores dentro del rango registrado para cada variable, convergen con un mayor RG. La fuerte asociación entre el RG y estas cuatro variables fue también evidente en las pruebas de independencia de ji cuadrada, que mostraron significancia contundente (ji-cuadrada =13 a 245;  $P < 0.001$ ) en todos los casos, debido a que el número de plantas seleccionadas con cada uno de los criterios cuantitativos de selección coincidió en 17 a 46 de las 50 plantas cuyo RG fue efectivamente mayor (Cuadro 6). Por dicho, cualquier criterio cuantitativo de selección basado en las variables morfológicas medidas en la mazorca sería más efectivo para aumentar el RG en comparación con las variables medidas en la planta.

#### **6.3.1. Peso de la mazorca (PM)**

El PM fue la variable que presentó mayor asociación con el RG. El rendimiento fue siempre mayor conforme aumentó el PM. El rango de valores del PM se dividió en cuatro grupos con tal de optimizar la regresión polinomial (Cuadro 1). El criterio cuantitativo para esta variable implica la elección de plantas con PM entre 173 y 219 g.

El número de plantas seleccionadas de entre las 50 plantas con el mejor RG, siguiendo el criterio cuantitativo del PM, fue de 46 (Figura 1 y Cuadro 6). La prueba de ji cuadrada mostró una fuerte dependencia entre el PM y RG con (ji cuadrada =245.2;  $P < 0.0001$ ). La correlación lineal entre el RG y el PM fue alta y directamente proporcional, tanto en el análisis de grupos (Cuadro 3) como con la información completa (Cuadro 4). Quiroz *et al.*, (2017) menciona que un alto PM implica un alto rendimiento.

### **6.3.2. Diámetro de la mazorca (DM)**

El DM fue la segunda variable que presentó mayor asociación con el RG. Al igual que para el PM, un mayor DM implicó siempre un mayor RG. El análisis de varianza y la prueba de Tukey para contrastar el RG entre los cuatro grupos en que se dividió el DM variable mostraron que el RG difirió entre cualquier par de grupos ( $P < 0.01$ ).

La correlación entre el RG y el DM fue alta y directamente proporcional tanto para el análisis de grupos (Cuadro 3) como con la información completa (Cuadro 4). El criterio cuantitativo para esta variable fue de 4.6 a 5.2 cm de DM, pero el límite inferior podría reducirse en función al bajo número de plantas que cumplieron con esta condición (Cuadro 1). El número de plantas seleccionadas, entre las 50 con mejor rendimiento, de acuerdo con el criterio cuantitativo de DM fue de 31 (Cuadro 5 y Figura 1). Una alta dependencia entre el DM y RG fue evidente de acuerdo con la prueba de ji cuadrada. Lo anterior reafirma el hecho de que esta variable es la segunda con mayor importancia para predecir el RG, o bien para aumentar el RG tomando el DM como criterio de selección. En un estudio previo se menciona que, a mayor DM, siempre que contenga granos a todo lo largo y ancho, se obtendrá un mayor RG (Fawad *et al.*, 2017).

### **6.3.3. Largo de la mazorca (LM)**

Con el fin de optimizar el ajuste al modelo de regresión polinomial, el rango de valores de LM se dividió en cuatro grupos. Dada la asociación directa entre el RG y el LM, los grupos con mayor LM presentaron también un mayor RG. El criterio cuantitativo de selección para el LM, consiste en seleccionar mazorcas con LM

entre 18 y 21 cm (Cuadro 1). La correlación entre el RG y el LM fue muy alta para el análisis de grupos (Cuadro 3), pero moderada cuando se usó la información completa (Cuadro 4). El número de plantas seleccionadas, dentro de las 50 plantas con mejor rendimiento, de acuerdo con el criterio cuantitativo del LM, fue de 17 (Cuadro 5 y Figura 1). Finalmente, la prueba de ji cuadrada mostró una fuerte dependencia entre el LM y el RG (Cuadro 6).

Una mazorca con mayor LM usualmente presenta un mayor número de granos en cada hilera, por lo que es natural que se asocie con un mayor RG (Pecina *et al.*, 2011). Nuestros resultados coinciden con una investigación anterior, que encontró una asociación positiva entre el LM y el RG (Kumar *et al.*, 2011). No obstante, otro estudio menciona que la asociación entre el RG y las variables LM y NHM es inversa, lo cual contradice nuestros resultados (Rahman *et al.*, 2017). Otro autor, menciona que la AM tiene una relación positiva con el LM (Sreckov *et al.*, 2010).

#### **6.3.4. Número de hileras en la mazorca (NHM)**

El rango de valores del NHM se dividió en cuatro grupos para optimizar la región polinomial. El criterio de selección cuantitativo se define en función a que los dos últimos grupos mostraron un alto RG; por lo tanto, el criterio incluye la selección de toda mazorca con un NHM entre 12 y 16 (Cuadro 1). La correlación entre el RG y el NHM mostró una asociación alta y directamente proporcional en el análisis de grupos (Cuadro 3) pero una correlación baja al utilizar la información completa (Cuadro 4). La cantidad de plantas seleccionadas de acuerdo con el criterio cuantitativo de selección para la variable NHM, entre las 50 plantas con

mejor rendimiento, fue de 28 (Cuadro 5), mientras que dicho número aumentó a 34 cuando se toman en cuenta las 115 plantas de los dos grupos sugeridos (Figura 1); y la elección de los dos grupos se debe a que no difieren en el RG ( $P < 0.05$ ). La prueba de ji cuadrada mostró dependencia entre el RG y el NHM (Cuadro 6).

Estudios previos han mencionado que hay una asociación positiva entre el NHM y el RG (Ghimire y Timsina, 2015). El NHM es un componente del número total de granos en la mazorca (Ritchie *et al.*, 1986). Otro estudio similar mostró que el NHM y el DM fueron los rasgos más con mayor asociación al RG (Kumar *et al.*, 2011).

#### **6.4. Variables medidas en el grano y el olote**

Esta categoría comprende las variables: peso del olote (PO), diámetro del olote (DO), largo del olote (LO), peso de cien granos (P100), ancho del grano (AG) y largo del grano (LG). Para minimizar el error de ajuste de un modelo polinomial de orden  $n$  (Cuadro 2), el rango de valores registrado para las variables medidas en el grano y en el olote se dividió en cuatro intervalos de clase, o grupos, de igual anchura (Cuadro 1).

Al analizar el número de plantas que cumplen el criterio cuantitativo de selección (Cuadro 3) de cada variable medida en el grano y olote, entre las 50 plantas (de entre 300) que efectivamente presentan los mayores valores de RG, resultó que sólo 13 a 36 de las 50 plantas con mayor RG hubieran sido seleccionadas con base en las variables medidas en el grano y el olote (Cuadro 5 y Figura 1).

#### **6.4.1. Peso del olote (PO)**

El rango de valores para PO se dividió en cuatro grupos para optimizar la regresión polinomial. El criterio cuantitativo para esta variable consiste en elegir plantas cuyo PO se encuentre entre 32 a 45 g (Cuadro 1). El PO mostró una correlación media con el RG (Cuadro 3 y Cuadro 4). El número de plantas seleccionadas de acuerdo con el criterio cuantitativo de la variable PO, entre las 50 plantas con el mayor RG, fue de 19 (Cuadro 5 y Figura 1). En consecuencia, la prueba de ji cuadrada, mostró cierta dependencia entre el PO y el RG (Cuadro 6).

#### **6.4.2. Diámetro del olote (DO)**

El rango de valores para DO se dividió en cuatro grupos con tal de optimizar la regresión polinomial, el criterio cuantitativo para esta variable consiste en elegir plantas cuyo valor del DO se encuentre entre 2.8 y 3.3 cm (Cuadro 1). El RG presentó una baja correlación con el DO (Cuadro 4); mientras que el DO estuvo correlacionado con el DM y el PO (Cuadro 4). El número de plantas elegidas a partir del criterio cuantitativo para PO, entre las 50 con mayor rendimiento, fue de 16 a 20 (Cuadro 5 y Figura 1). En cuanto a la prueba de independencia de ji cuadrada, el DO mostró cierta dependencia con el RG (Cuadro 6). En un estudio con maíz criollo, en el estados de Tamaulipas, el RG se asoció con valores bajos de DO o valores altos de LM y de número de granos por hilera (Pecina *et al.*, 2011).

#### **6.4.3. Diámetro del olote (DO)**

El rango de valores para DO se dividió en cuatro grupos con tal de optimizar la regresión polinomial, el criterio cuantitativo para esta variable consiste en elegir plantas cuyo valor del DO se encuentre entre 2.8 y 3.3 cm (Cuadro 1). El RG presentó una baja correlación con el DO (Cuadro 4); mientras que el DO estuvo correlacionado con el DM y el PO (Cuadro 4). El número de plantas elegidas a partir del criterio cuantitativo para PO, entre las 50 con mayor rendimiento, fue de 16 a 20 (Cuadro 5 y Figura 1). En cuanto a la prueba de independencia de ji cuadrada, el DO mostró cierta dependencia con el RG (Cuadro 6). En un estudio con maíz criollo, en el estado de Tamaulipas, el RG se asoció con valores bajos de DO o valores altos de LM y de número de granos por hilera (Pecina *et al.*, 2011).

#### **6.4.4. Largo del olote (LO)**

El rango de valores para LO se dividió en cuatro grupos con tal de optimizar la regresión polinomial, el criterio cuantitativo para LO consiste en elegir plantas cuyo valor de LO se encuentre entre 20 y 24 cm (Cuadro 1), donde el grupo sugerido es el de mayor rendimiento. La correlación entre el RG y el LO fue alta para el análisis dentro de grupos (Cuadro 3), pero baja cuando se utilizó la información completa (Cuadro 4). El número de plantas seleccionadas de acuerdo con el criterio cuantitativo para PO, entre las 50 con mejor rendimiento, fue de 13 (Cuadro 5 y Figura 1). En cuanto a la prueba de ji cuadrada LO mostró cierta dependencia (Cuadro 6).

#### **6.4.5. Peso de 100 granos (P100)**

El rango de valores para P100 se dividió en cuatro grupos para optimizar la regresión polinomial, el criterio cuantitativo para P100 consiste en elegir plantas cuyo P100 sea de 30 a 47 g (Cuadro 1). Dada la relación directa entre P100 y RG, las plantas de los grupos 3 y 4 serían elegidas por presentar un mayor RG. La correlación entre el RG y P100 fue alta para los promedios de los grupos (Cuadro 3), pero resultó baja cuando se utilizó la información completa (Cuadro 4). El número de plantas seleccionadas de acuerdo con el criterio cuantitativo de P100, entre las 50 con mejor rendimiento, fue de 16 (Cuadro 5) y 25 (Figura 1). En la prueba de ji cuadrada P100 mostró cierta dependencia con el RG (Cuadro 6). En nuestros datos, el P100 se correlaciona positivamente con las dimensiones y el peso de la mazorca, como ya lo había mencionado un estudio anterior (Fawad *et al.*, 2017). El peso de cien granos, que refleja el peso de la semilla, no resultó asociado de manera contundente con el rendimiento, por lo que la consideración de esta variable se descarta como criterio para aumentar el rendimiento en grano. No obstante, un estudio previo menciona que el P100 es uno de los componentes del rendimiento de las especies (Quiroz *et al.*, 2017).

#### **6.4.6. Ancho del grano (AG)**

El rango de valores del AG se dividió en cuatro grupos para optimizar la regresión polinomial. El criterio cuantitativo de selección para AG consiste en elegir plantas cuyo AG sea mayor a 0.8 cm (Cuadro 1). Dada la relación positiva entre RG y AG, el grupo 4 resultó ser el de mayor RG. La correlación entre el RG y el AG fue alta en el análisis de grupos (Cuadro 3) y de orden intermedio al utilizar la información completa de las 300 plantas (Cuadro 4). El AG presentó además una correlación significativa con el PM y el DM (Cuadro 4). El número de plantas seleccionadas de acuerdo con el criterio cuantitativo de selección para AG, entre las 50 con mejor rendimiento, fue de 31 a 36 (Cuadro 5 y Figura 1). En la prueba de ji cuadrada, el AG mostró una alta dependencia con el RG (Cuadro 6). Por otra parte, en la literatura, un mayor tamaño de semilla se ha relacionado con un mayor crecimiento, pero la ubicación del grano dentro de la mazorca implica también diferencias en su forma y tamaño (Condori y Clementelli, 2013).

#### **6.4.7. Largo del grano (LG)**

El rango de valores para LG se dividió en tres intervalos de clase para optimizar un modelo de regresión polinomial que explicara el RG en función al LG: El criterio cuantitativo para LG consiste en elegir plantas cuyo LG esté entre 1.2 a 1.7 (Cuadro 1). El coeficiente de correlación entre el RG y el LG no fue significativo para el análisis de grupos (Cuadro 3), ni tomando la información de las 300 plantas (Cuadro 4). Por otra parte, el LG mostró una alta correlación, inversamente proporcional, con el NHM (Cuadro 4). El número de plantas

seleccionadas de acuerdo con el criterio cuantitativo definido para el LG, entre las 50 con mejor rendimiento, fue de 8 (Cuadro 5 y Figura 1). En la prueba de independencia, de ji-cuadrada, el LG mostró ser independiente del RG (Cuadro 6). De acuerdo con la literatura, las semillas de mayor longitud presentan mayor cantidad de sustancias de reserva y un embrión de mayor tamaño, lo que podría reflejarse en un incremento en el porcentaje y en la velocidad de emergencia de las plántulas (Wood *et al.*, 1977).

## **7. CONCLUSIONES**

Ninguna de las variables medidas en la planta presentó una asociación importante con el rendimiento en grano, por lo que la selección de individuos en el campo se limita a verificar las condiciones elementales de la selección masal estratificada, que son: la representación de toda el área de cultivo, que la planta se encuentre bajo competencia completa y que tanto esta como sus vecinas poseen órganos completos.

A pesar de que todas las variables medidas en la mazorca mostraron una asociación importante con el rendimiento en grano, se recomienda utilizar exclusivamente el criterio cuantitativo de selección basado en el peso de la mazorca. La razón reside en que el peso de la mazorca es la variable que presentó mayor asociación con el rendimiento en grano. Además, esta variable es la más sencilla de medir y entender para el productor. Por ejemplo, puede obtenerse rápidamente el promedio de peso de la mazorca al pesar varias mazorcas a la vez, lo que no es posible con las dimensiones lineales.

## **8. RECOMENDACIONES**

En campo, deben elegirse como plantas candidatas de selección solo plantas que cumplan con los requisitos de la selección masal estratificada. Los requisitos indispensables son: que las plantas se encuentren en condición de competencia completa y posean órganos completos plenamente desarrollados.

La selección de semilla se puede llevar a cabo con base en el peso de la mazorca. Un método sencillo para conseguir esto consiste en pesar, por ejemplo, 1000 mazorcas y obtener el peso promedio de la mazorca. Después pueden tomarse los pesos individuales y descartar las mazorcas cuyo peso sea inferior a dicho promedio. El mismo procedimiento se puede aplicar a las mazorcas seleccionadas de esta manera. Al repetir el procedimiento una vez más sobre las mazorcas seleccionadas, se descartarían tres de cada cuatro mazorcas seleccionadas en campo. La cantidad de plantas o mazorcas a seleccionar dependerá de la superficie a cultivar y la densidad de plantas deseada.

## 9. LITERATURA CITADA

- Acosta, R., 2009. El cultivo del maíz, su origen y clasificación. El maíz en Cuba. Cultiv. Trop. 30, 113–20.
- Aldape, B.J., 1995. Fertilización nitrogenada y fosfórica de maíz criollo (*Zea Mays*) variedad blanco olote colorado en riego y riego limitado, verano 1984, Ejido San Rafael, Linares, N.L. UANL. México.
- Aldrich, S.R., Leng, E.R., 1974. Producción moderna del maíz, Modern corn production. Hemisferio Sur, Argentina.
- Aldrich, S.R., Scott, W.O., Leng, E.R., 1975. Modern corn production, A & L Publications. Champaign, IL, USA.
- Allard, W.R., 1980. Principios de la mejora genética de las plantas, 4a. ed, Omega. Barcelona, España.
- Amado, P., 2017. Recomendaciones técnicas para elegir el ciclo y la variedad de maíz más adecuada. [25 febrero 2019] <http://www.campogalego.com/es/noticias-de-empresa-es-es/recomendaciones-tecnicas-para-elegir-el-ciclo-y-la-variedad-de-maiz-mas-adecuada/>.
- Bárcena, A., Katz, J., Morales, C., Schaper, M., 2004. Los transgénicos en América Latina y el Caribe: un debate abierto. Com. Econ. para América Lat. y el Caribe 1, 386.
- Bashir, A.M., Rafique, M., Shafique, M.T., Hussain, A., Mahmood, T., Sarwar, M., 2003. Character association and path coefficient analysis of grain yield and

- yield components maize (*Zea mays* L.). Pakistan J. Biol. Sci. 6, 136–138.
- Bastías, M.E., Díaz, M.M., Pacheco, C.P., Bustos, P.R., Hurtado, C.E., 2011. Caracterización del maíz “ Lluteño ” (*Zea mays* L. tipo amylacea) proveniente del norte de Chile, tolerante a NaCl y exceso de boro, como una alternativa para la producción de bioenergía. Idesia 29, 7–16.
- Beal, W.J., 1880. Indian corn. Agr. Ann. Rpt. 1, 279–289.
- Beck, D., Vasal, S.K., 1993. Our clients, their research capacities, and germplasm needs, en: In International testing: evaluating and distributing maize germplasm products. pp. 1–10.
- Bellon, M.R., Brush, S.B., 1994. Keepers of maize in Chiapas, México. Econ. Bot. 48, 196–209.
- Betancourt, V.J., Molina, G.A.A.H., 1974. Comparación del potencial genetico entre variedades de maíz no seleccionadas y mejoradas mejoradas por selección masal como fuentes de líneas de alta aptitud combinatoria general. Agrociencia. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. ENA. Chapingo, México.
- Bielsa, A.A.C., 2006. Evaluación agronómica de ciclos de selección recurrente intrapoblacional en poblaciones sintéticas de maíz. EUPLA (Escuela Universitaria Politécnica La Almunia de Doña Godina), España.
- Birch, R.G., 1997. Plant transformation: problems and strategies for practical application. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 297–326.
- Brauer, H.O., 1973. Fitogenética aplicada: los conocimientos de la herencia

vegetal al servicio de la humanidad. Editorial LIMUSA S.A., México.

Bravo, E.M., Ruiz, V.J., Volke, H. V., 2005. Cultivo de maíz en sistema de labranza con barreras biofísicas en andosoles de ladera. *Terra Latinoam.* 23, 371–380.

Buckler, S.E., Stevens, M.N., 2006. Maize origins, domestication, and selection, en: Motley, T.J.; Zerega, N.; Cross, H.N.C.U.P. (Ed.), *In Darwin's harvest: new approaches to the origins, evolution and conservation of crops.* New York, pp. 67–90.

Chávez, A.J.L., 1995. *Mejoramiento de plantas II*, 1a ed. Trillas Editorial, México.

Claure, I.V.T., 1984. Mejoramiento del maíz en Bolivia por selección masal y selección combinada de medios hermanos. *Agrociencia* 191–203.

Comstock, R.E., Robinson, H.F., Harvey, P.H., 1949. A breeding procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. *Am. J.* 1, 360–367.

Condori, A., Clementelli, A., 2013. Tamaño y forma de la semilla del maíz y su relación con las características agronómicas y rendimiento en el cultivo. Invierno 2012. *Univ. Cienc. Soc.* 1–13.

CONEVAL, 2010. (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social). Informe anual sobre la situación de pobreza y rezago social. Isla, Veracruz de Ignacio de la Llave. México.

Cruz, Ñ.O.F., 2013. El cultivo de maíz, manual para el cultivo de maíz en Honduras. *Dir. Cienc. y Tecnol. Agropecu.*

- Cuevas, V.J., 2018. Situación actual del mercado de maíz (II). [13 enero 2019]  
<https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Situacion-actual-del-mercado-del-maiz-II-20180925-0124.html>.
- da Fonseca, R.R., Smith, D.B., Nathan, W., Cappellini, E., Skoglund, P., Fumagalli, M., Samaniego, J.A., Caroe, C., Ávila, A.M.C., Hufnagel, D.E., Korneliussen, S.T., Vieira, G.F., Jakobsson, M., Arriaza, B., Willerslev, E., Nielsen, R., Hufford, B.M., Albrechtsen, A., Ross, I.J., Gilbert, P.M.T., 2015. The origin and evolution of maize in the Southwestern United States. *Nat. Plants* 1, 1–5.
- del Bosque, M.J., 1998. Ensayo de rendimiento, adaptación y estabilidad de variedades sintéticas de maíz en el trópico húmedo., Tesis profesional. UAAAN. Coahuila, México.
- Desmond, S.T.N., 1994. An introduction to genetic engineering. Cambridge Univ. Press 164.
- Doebley, J., 1994. Genetics and the morphological evolution of maize, en: Freeling, M.; Walbot, V. (Ed.), *The maize handbook*. Springer-Verlag, NY, USA., pp. 66–77.
- DOF, 1993. Sentencia pronunciada en el juicio agrario número 414/ 92, relativa a la creación de un nuevo centro de población ejidal, promovida por campesinos del poblado Ley de Reforma Agraria, Isla, Ver. Méx. D. Of. la Fed. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Dowswell, C.D., Paliwal, R.L., Cantrell, R.P., 1996. Maize in the third world.

Westview Press.

Espinosa, C.A., Tadeo, R.M., Meza, G.L.D., Arteaga, E.I., Matías, B.D., Valdivia, B.R., Sierra, M.M., Gómez, M.N., Palafox, C.A., Zamudio, G.B., 2010. Eliminación de espiga y hojas en un híbrido de maíz androestéril y fértil. Univ. y Cienc. 26, 215–224.

Eubanks, W.M., 2001. The mysterious origin of maize. Econ. Bot. 55, 492–514.

Euzebio, C.A., 1972. Variación fenotípica en una variedad de maíz (*Zea mays* L.), bajo diferentes presiones de selección. Tesis Maest. en Ciencias. Col. Postgraduados ENA. Chapingo, México.

FAO, 2016. Evaluación de la seguridad de semillas, una guía para profesionales. Roma. ISBN 978-92-5-309179-9. 72. 72.

FAO, s/f. Selección de semilla de maíz. [enero 20 2019 <http://www.fao.org/3/as958s.pdf>].

Fassio, A., Carriquiry, A.I., Tojo, C., Romero, R., 1998. Maíz: Aspectos sobre fenología. INIA 1, 51.

Fawad, A., Muhammad, A., Qurban, A., Kanwal, N., 2017. Phenotypic stability of *Zea mays* grain yield and its attributing traits under drought stress. Front. Plant Sci. 8, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01397>

FIRA, 2016. (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura). Panorama agroalimentario, maíz, Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. México.

- Frank, A.B., Hofmann, L., 1989. Relationship among grazing management, growing degree days, and morphological development for native grasses on the Northern Great Plains. *J. Range Manag.* 42, 199–202.
- Galinat, W.C., 1988. The origin of corn. *Corn and corn improvement*. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA.
- Gear, J.R.E., 2006. El cultivo del maíz en la Argentina. *Maizal, Serie de informes especiales del ILSI Argentina*.
- Ghimire, B., Timsina, D., 2015. Analysis of yield and yield attributing traits of maize genotypes in Chitwan, Nepal. *J. Food Process. Technol.* 3, 153–162. <https://doi.org/10.4172/2157-7110.c1.060>
- González, R.F., León, G.D., Borges, G.L., Pinzón, L.L., Magaña, M.M., Sangines, G.R., Urrestarazu, G.M., 2014. Envejecimiento acelerado sobre la calidad de semillas de maíz para producir germinados para forraje alternativo. *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas* 1487–1493.
- Goodman, M.M., 1985. Exotic maize germplasm: status, prospects, and remedies. *J. Res.* 59, 497–527.
- Goodman, M.M., Brown, W.L., Sprague, G.F., Dudley, J.W., 1988. In *Corn and corn improvement*. Am. Soc. Agron./Crop Sci. Soc. Am./Soil Sci. Soc. Am. Madison, WI.
- Gracen, V.E., 1986. Sources of temperate maize germplasm and potential usefulness in tropical and subtropical environments. *Adv. Agron.* 39, 127–172.

- Hallauer, A.R., 1992. Recurrent selection in maize, 1a ed. Plant Breeding.
- Hallauer, A.R., 1985. Compendium of recurrent selection methods and their application. Crit. Rev. plant Sci. 1, 1–30.
- Hallauer, A.R., Eberhart, S.A., 1970. Reciprocal full-sib selection. Crop Sci 315–316.
- Herrera, E.L., Martínez, T.M., 2007. Plantas transgénicas. Fundam. y casos Exitosos la Biotecnol. Mod. 167–193.
- IICA-BID (Banco Interamericano de Desarrollo - Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura), 1991. XIII curso corto Mejoramiento genético del maíz. PROCIANDINO, Quito, Ecuador.
- INEGI, 2010. Catálogo de localidades. [20 marzo 2019] <http://www.microrregiones.gob.mx/catloc/contenido.aspx?refnac=30077036> 4.
- INIFAP, 2001. Tecnología para la producción rentable de maíz bajo riego en el Altiplano de San Luis Potosí. Foll. Téc. 22.
- INTAGRI, 2017. Importancia de la hoja bandera en el rendimiento de gramíneas. Artículos Técnicos 1, 4.
- Jaramillo, A.J.G., Peña, O.B. V., Hernández, S.J.H., Díaz, R.R., Espinosa, C.A., 2018. Caracterización de productores de maíz de temporal en Tierra Blanca, Veracruz. Rev. Mex. Ciencias Agrícolas 9, 911–923. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i5.1501>

- John, W.E., Bateman, D., Hauberg, S., Wehbring, R., 2015. GNU Octave versión 4.00. Manual: a high-level interactive language for numerical computations. <http://www.gnu.org/software/octave/doc/interpreter/>.
- Jouglet, J.P., Bernard, B. I., Dubost, M., 1982. Phenology of some species of subalpine pelo uses of Briancon. Fourrages 92, 67–90.
- Jugenheimer, R.W., 1981. Maíz, variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Editorial Limusa, México, D.F.
- Kato, T.A., Mapes, C., Mera, L.M., Serratos, J.A., Bye, R.A., 2009. Origen y diversificación del maíz. Una revisión analítica, Universidad Autónoma de México, Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. México.
- Khalily, M., Moghaddam, H., Kanauni, H., Asheri, E., 2010. Dissection of drought stress as a grain production constraint of maize in Iran. Asian J. Crop Sci. 2, 60–69.
- Kumar, T.S., Reddy, D.M., Reddy, K.H., Sudhakar, P., 2011. Targeting of traits through assessment of interrelationship and path analysis between yield and yield components for grain yield improvement in single cross hybrids of maize( *Zea mays* L.). Int. J. Appl. Biol. Pharm. Technol. 2, 123–129.
- La Ragione, S.L.L., 2008. ¿Maíz o sorgo para ensilar? ¿Qué opciones tiene el productor? PANNAR 1–4.
- Lonnquist, J.H., 1964. A modification on the ear-to-row procedure for the improvement of maize populations. Crop Sci 4, 227–228.

- Lonquist, J.H., 1965. Métodos de selección útiles para el mejoramiento dentro de poblaciones. *Rev. fitotécnica Latinoam.* 2, 1–56.
- López, B.L., 1991. Cultivos herbáceos. vol. I. Cereales, en: *Mundi Prensa*. p. 539.
- López, H., de la Cruz, F., 2012. Mapas agroclimáticos para el cultivo del maíz grano en España. *Boletín GENVCE* 1, 1–2.
- López, R.J.J., 1991. Selección masal visual estratificada en un compuesto de maíz y su eficiencia relativa a híbridos de la Mesa Central. *Agrociencia Ser. Fitociencia* 2, 81–94.
- Magdaleno, H.E., Jiménez, V.M., Martínez, S.T., Cruz, G.B., 2014. Estrategias de las familias campesinas en Pueblo Nuevo, Municipio de Acambay, Estado de México. *Agric. Soc. y Desarro.* 11, 167. <https://doi.org/10.22231/asyd.v11i2.66>
- Magdaleno, H.E., Mejía, C.A., Martínez, S.T., Jiménez, V.M.A., Sánchez, E.J., García, C.J.L., 2016. Selección tradicional de semilla de maíz criollo. *Agric. Soc. Desarro.* 13, 437–447.
- Márquez, S.F., 1995. Métodos de mejoramiento genético del maíz. Chapingo, México.
- Márquez, S.F., 1980. *Genotecnia vegetal: métodos, teoría y resultados*, 1a ed. México.
- Martínez, A.J., 1990. Selección masal para adaptación en Chapingo de una población de maíz Tuxpeño. *Agrociencia Ser. Fitociencia* 4, 69–84.

- Martínez, T., 1985. Ecología y campesinado en el México central contemporáneo.
- Mateos, L., Castillo, G.C., Chávez, S.J.L., Estrada, G.J.A., Livera, M.M., 2016. Manejo y aprovechamiento de la agrobiodiversidad en el sistema milpa del sureste de México. *Acta Agronómica* 65, 413–421.
- Mendoza, R.M., 1982. Comparación de metodologías de fitomejoramiento en dos variedades temporaleras de maíz (*Zea mays* L.) 127.
- Molina, G.J., 1980. Selección masal para resistencia a sequía. *Agrociencia* 42, 69–72.
- Obregón, G.P., 1971. Avances en el mejoramiento de poblaciones de maíz en Venezuela. Terc. Conf. Mejor. maíz la Zo. Andin. Univ. Agrar. La Molina 52–53.
- Paliwal, R.L., 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. FAO 392.
- Pandey, S., Gardner, C.O., 1992. Recurrent selection for population, variety, and hybrid improvement in tropical maize. *Adv. Agron.* 48, 2–79.
- Pecina, M.J.A., Mendoza, C., López, S.J.A., Castillo, G.F., Mendoza, R.M., Ortiz, C.J., 2011. Rendimiento de grano y sus componentes en maíces nativos de Tamaulipas evaluados en ambientes contrastantes. *Rev. Fitotec. Mex* 34, 85–92.
- Pedrol, H.M., Castellarín, J.M., Ferraguti, F., Rosso, O., 2008. Respuesta a la fertilización nitrogenada y eficiencia en el uso del agua en el cultivo de maíz según nivel hídrico. *Inf. Agron. Cono Sur* 40, 17–20.

- Poehlman, J.M., Allen, D., 2003. Mejoramiento genético de las cosechas, 2a ed. Limusa, México, D. F.
- Purseglove, J.W., 1985. Tropical crops. Monocotyledons. Longman, Singapore 1, 142–144.
- Quemé, J.L., Fuentes, M.R., 1992. Evaluación de híbridos de maíz (*Zea mays* L.) de grano blanco y amarillo en diferentes ambientes de México, Centroamerica, el caribe y Venezuela. Inf. del PCCMCA 1, 61.
- Quiroz, M.J., Pérez, L.D.J., González, H.A., Rubí, A.M., Gutiérrez, R.F., Franco, M.J.R.P., Ramírez, D.J.F., 2017. Respuesta de diez cultivares de maíz a la densidad de población en tres localidades del Centro Mexiquense. Rev. Mex. Ciencias Agrícolas 8, 1521–1535. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i7.508>
- Rahman, M., Ahasanul, H., Hossain, A., Bari, A.A., 2017. Variability and traits association analyses in maize (*Zea mays* L.) genotypes. Agric. 15, 101–114. <https://doi.org/10.3329/agric.v15i2.35473>
- Ralphps, M.H., Garner, D.R., Tuner, D.L., Pfister, J.A., Thacker, E., 2002. Predicting toxicity of tall larkspur (*Delphinium barbeyi*): measurement of the variation in alkaloid concentration among plants and among years. J. Chem. Ecol. 28, 2327–2341.
- Ramírez, D.J.L., Ron, P.J., Sánchez, G., Chuele, B.M., 2000. Selección recurrente en la población de maíz subtropical PABGT-CE. Agrociencia 34, 33–39.
- Ramirez, L.J., 2013. Relación de altura de planta y mazorca con rendimiento en

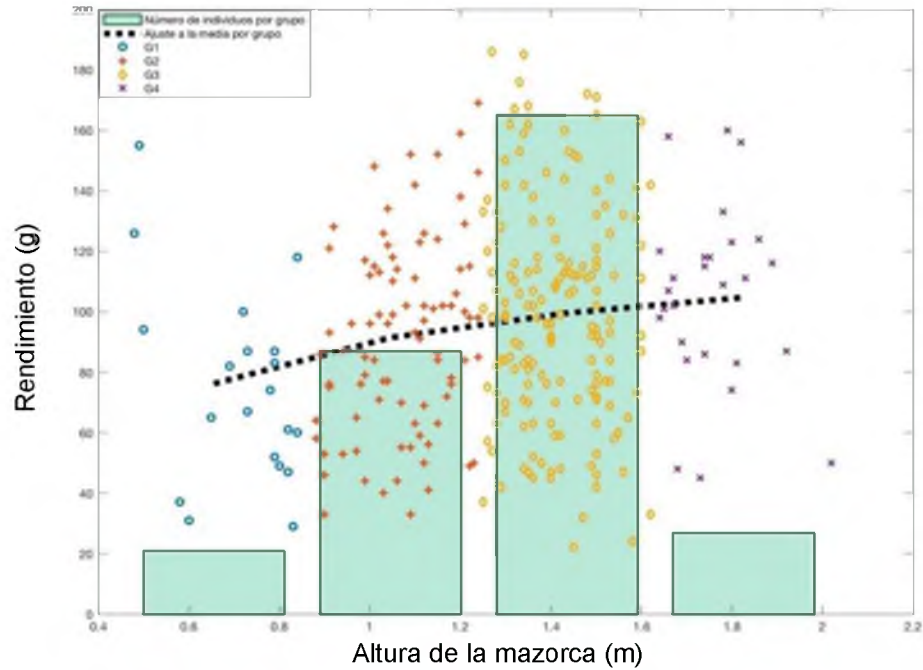
- maíz (*Zea mays* L.). Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, Coahuila, México.
- Ribaut, J.M., Pilet, P.E., 1991. Effects of water stress on the growth, the osmotic potential and the abscisic acid content of maize roots. *Physiol. Plant.* 1, 156–162.
- Ritchie, S.W., Hanway, J.J., Benson, G.O., 1986. How a Corn Plant Develops. *State Libr. Iowa* 1, 22.
- Robinson, H.F., Comstock, R.E., Harey, P.H., 1949. Estimates of heritability and degree of dominance in corn. *Agron. Jour.* 353–359.
- Robinson, H.F., Comstock, R.E., Harvey, P.H., 1955. Genetic variances in open pollinated varieties of corn. *Genetics* 40, 45–60.
- Robles, S.R., 1986. *Genética elemental y fitomejoramiento práctico*. Limusa.
- Rodriguez, D.A., Hallauer, A.R., 1988. Effects on recurrent selection in corn populations. *Crop Sci* 1, 796–800.
- Romero, F.J., 1968. Selección mazorca por hilera en maíz en Honduras. 14a. Reun. Centroam. PCCMCA.
- Romero, L.A., 2012. *Ensilaje de maíz en forrajes conservados*. Cámara Argentina Contratistas Forrajeros. Man. Actual. técnicas 3ra edición.
- SAGARPA, 2017. Maíz grano blanco y amarillo mexicano. *Planeación agrícola Nac.* 2017-2030 1, 1–14.
- Smith, M.E., Paliwal, R., L., 1996. Contributions of genetic resources and

- biotechnology to sustainable productivity increases in maize, en: E, W.K. y P. (Ed.), Plant biotechnology and plant genetic resources for sustainability and productivity. Landes and Academic Press., Austin; TX; USA; R.G. Landes and Academic Press., pp. 133–144.
- Soto, M., Gama, L., Gómez, M., 2001. Foresta Veracruzana. For. Veracruzana 3, 31–40.
- Sreckov, Z., Bocanski, J., Nastasic, A., Alovic, I., Vukosavljev, M., 2010. Correlation and path coefficient analysis of morphological traits of maize (*Zea mays* L.). Res. J. Agric. Sci. 42, 292–296.
- Sturtevant, E.. L., 1899. Varieties of corn. USDA Off. Exp. Stn. Bull. 1–108.
- Taba, S., 1995. Maize genetic resources. Maize program special report. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). México, D. F.
- Tanaka, A., Yamaguchi, J., 1984. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano en maíz. Taller de COLPOS 1, 120.
- Tinoco, C.A., Rodríguez, F.A., Sandoval, J.A., Barrón, S., Palafox, A., Esqueda, V.A., Sierra, M., Romero, J., 2002. Manual de producción de maíz para los estados de Veracruz y Tabasco. Libr. Técnico No. 9. INIFAP. CIRGOC. 113.
- Troyer, A.F., Brown, W.U., 1976. Selection for early flowering in Corn: Three adapted synthetics. Crop Sci. 30, 767–896.  
<https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183x003000040028x>
- Turiján, A.T., Damián, H.M.A., Ramírez, V.B., Juárez, S.J.P., Chulím, N.E., 2012. Manejo tradicional e innovación tecnológica en cultivo de maíz en San José

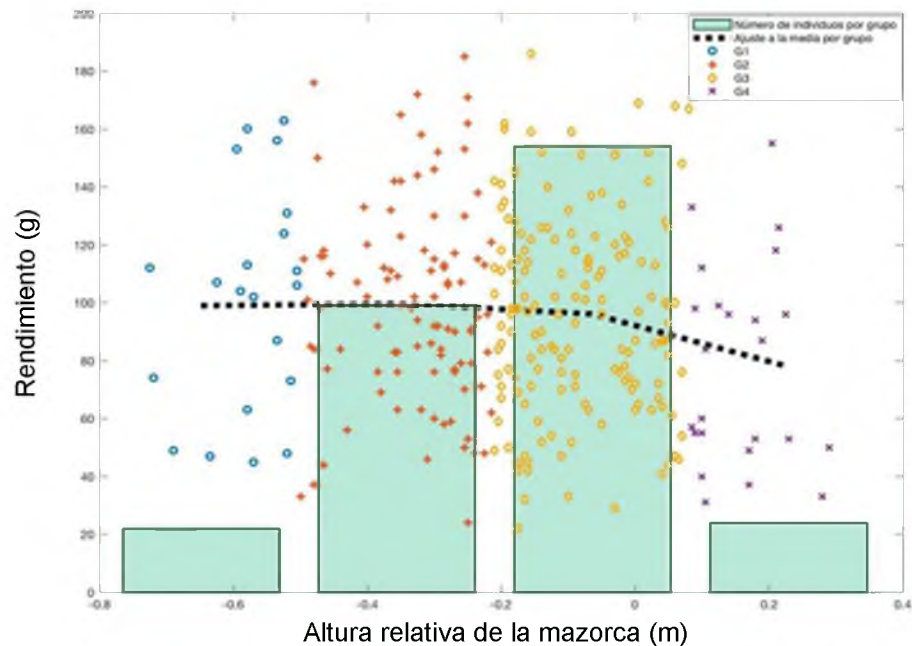
- Chiapa, Puebla. *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas* 3, 1085–1100.
- Vásquez, C.M.A., Castañeda, H.E., Lozano, T.S., Pérez, L.M.I., Santiago, M.G.M., Robles, P.C., 2017. Caracterización de sistemas de cultivo de maíz en regiones del estado de Oaxaca. *Rev. Mex. Agroecosistemas* 4, 24–37.
- Vega, U.Y.C., Agudelo, L., 1972. Selección masal estratificada para rendimiento en dos variedades de maíz. *Agron. Trop.* 22, 159–168.
- Vera, G.A., Crane, P.L., 1970. Effects of selection for lower ear height in synthetic populations of maize. *Crop Sci.* 286–288.
- Wilkes, G., 1989. Maize: domestication, racial evolution and spread. In *Foraging and farming* 441–455.
- Wilkes, G., 1985. Teosinte: the closest relative of maize revisited. *Maydica* 1, 209–223.
- Wilson, K.H., Harold, K., 1969. *Producción de cosechas*, 6a ed. C.E.S.A, México.
- Wood, D.W., Longden, C.D., Scott, K.R., 1977. Seed size variation; its extent, source and significance in field crops. *Seed Sci. Tech.* 332–352.
- Zamudio, G.B., Espinosa, C.A., Tadeo, R.M., Encastín, D.J.J., Nelson, M.J., Félix, R.A., Cárdenas, M.A.L., Turrent, F.A., 2015. Producción de híbridos y variedades de maíz para grano en siembra a doble hilera. *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas* 6, 1491–1505.

## 10. ANEXO

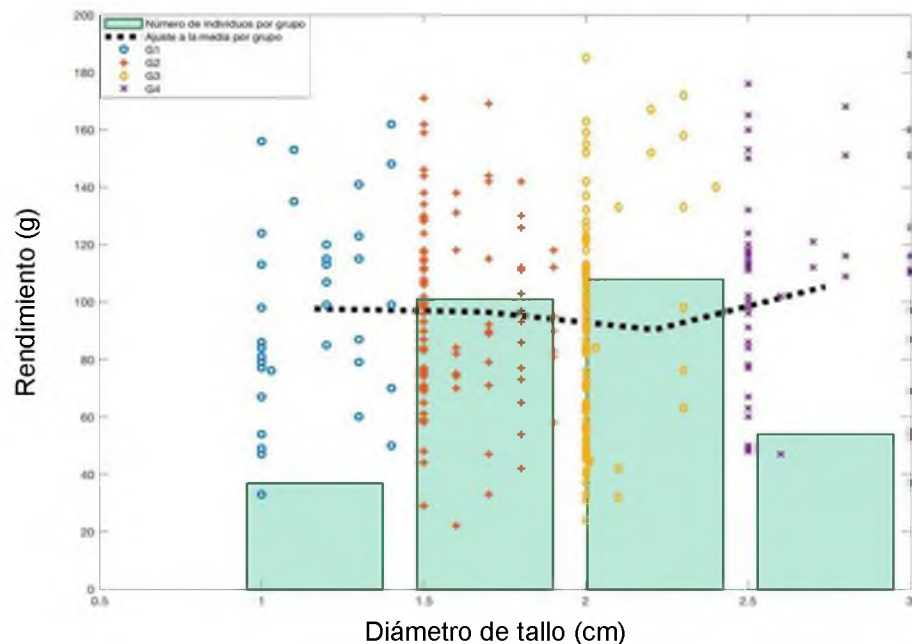
**Anexo.** Gráficos de asociación entre las variables morfológicas y el rendimiento en grano de maíz criollo de temporal, obtenidos del software Octave (v. 4.0).



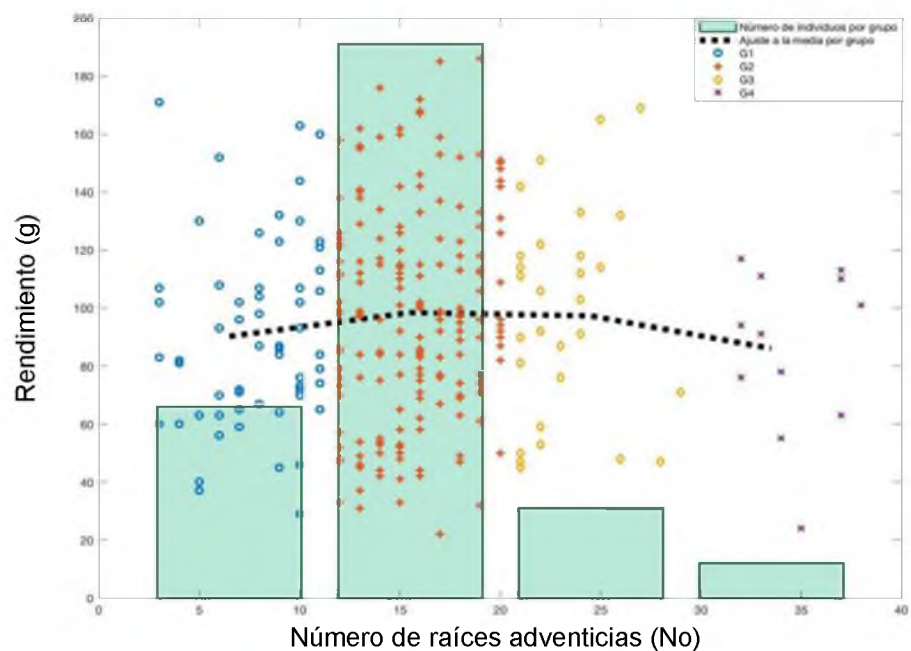
**Figura 1A.** Variación observada del rendimiento en grano de maíz criollo de temporal en función a la altura de la mazorca. G1, G2, G3 y G4: Intervalos de clase.



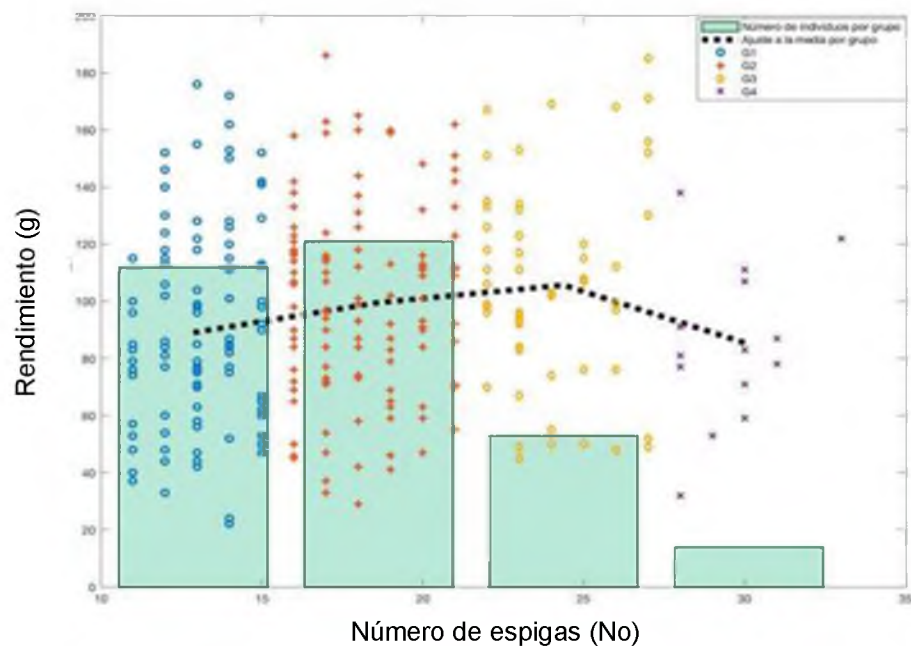
**Figura 2A.** Variación observada del rendimiento en grano de maíz criollo de temporal en función a la altura relativa de la mazorca. G1, G2, G3 y G4: Intervalos de clase.



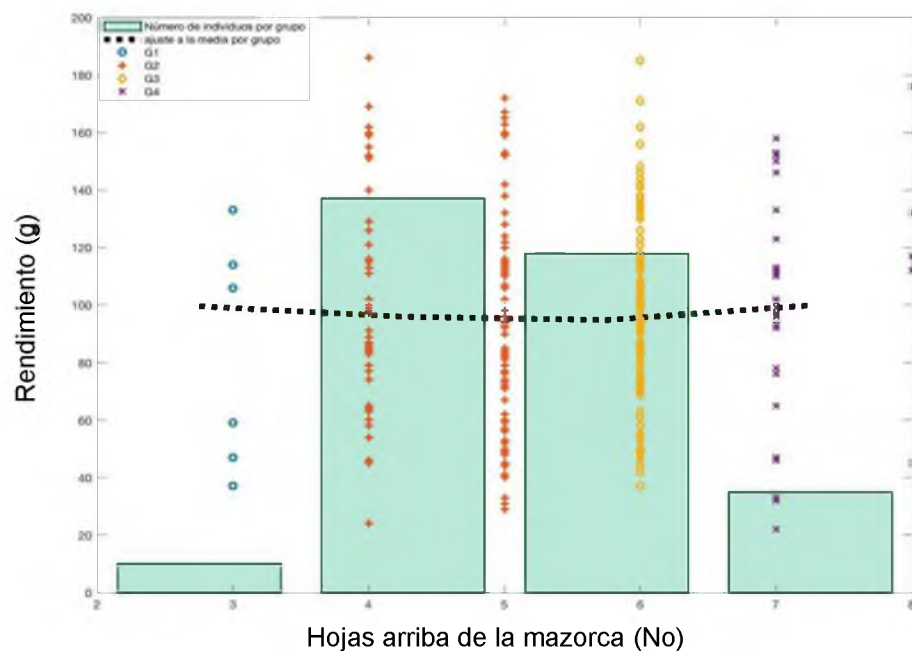
**Figura 3A.** Variación observada del rendimiento en grano de maíz criollo de temporal en función al diámetro de tallo. G1, G2, G3 y G4: Intervalos de clase.



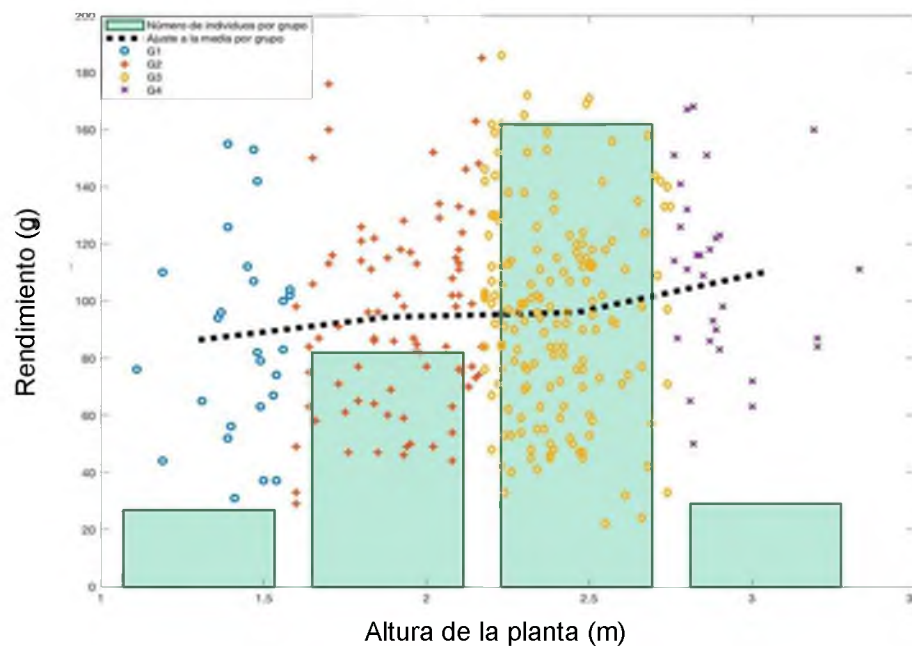
**Figura 4A.** Variación observada del rendimiento en grano de maíz criollo de temporal en función al número de raíces adventicias. G1, G2, G3 y G4: Intervalos de clase.



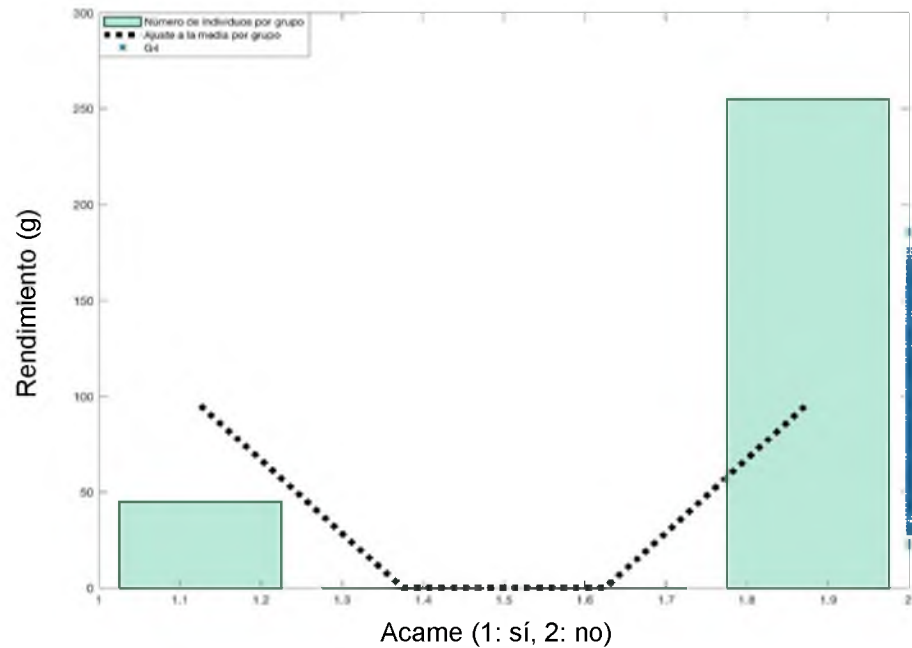
**Figura 5A.** Variación observada del rendimiento en grano de maíz criollo de temporal en función al número de espigas. G1, G2, G3 y G4: Intervalos de clase.



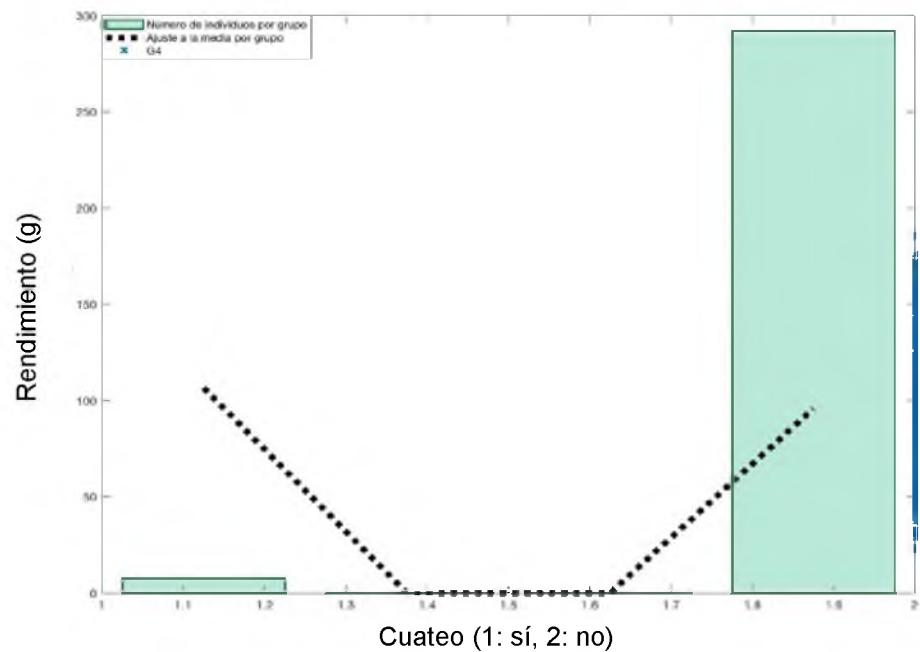
**Figura 6A.** Variación observada del rendimiento en grano de maíz criollo de temporal en función a hojas arriba de la mazorca. G1, G2, G3 y G4: Intervalos de clase.



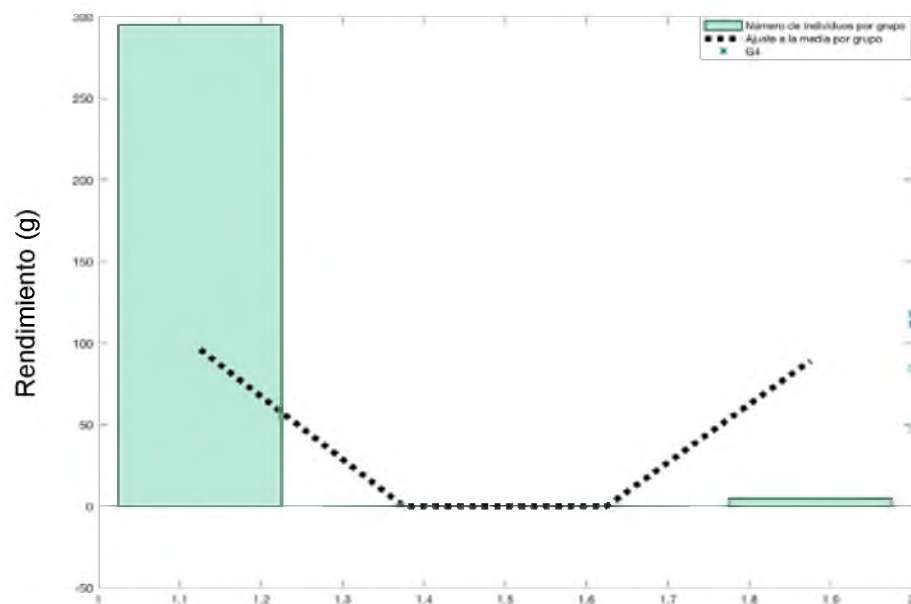
**Figura 7A.** Variación observada del rendimiento en grano de maíz criollo de temporal en función a la altura de la planta. G1, G2, G3 y G4: Intervalos de clase.



**Figura 8A.** Variación observada del rendimiento en grano de maíz criollo de temporal en función al acame. G1, G2, G3 y G4: Intervalos de clase.

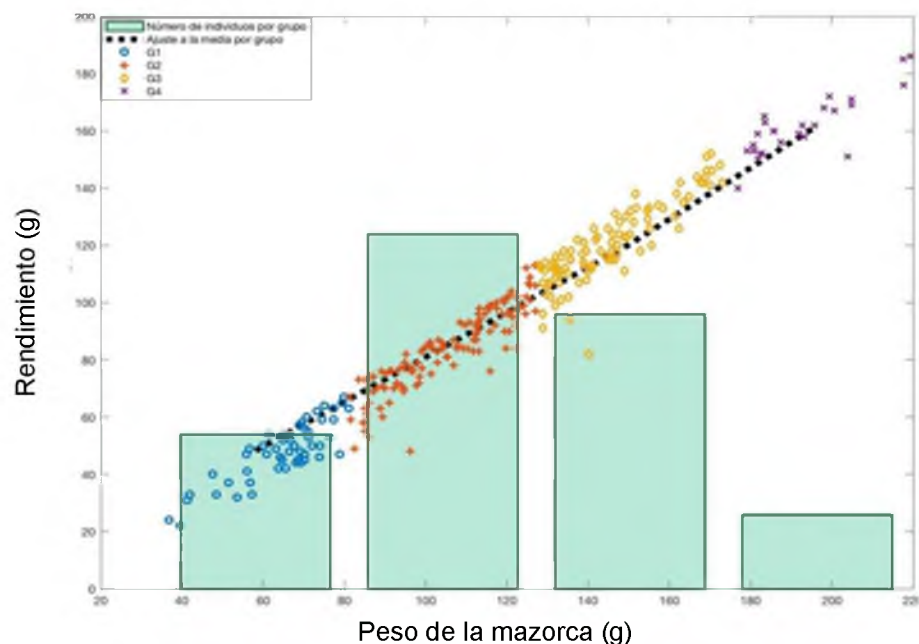


**Figura 9A.** Variación observada del rendimiento en grano de maíz criollo de temporal en función al cuateo. G1, G2, G3 y G4: Intervalos de clase.

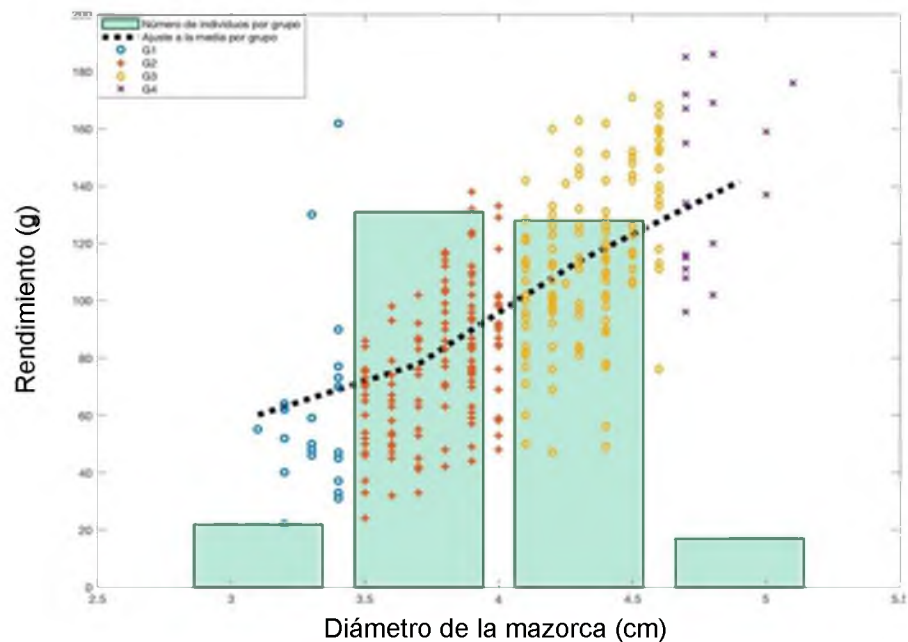


Totomoxtle abierto o cerrado (1: no, 2: si).

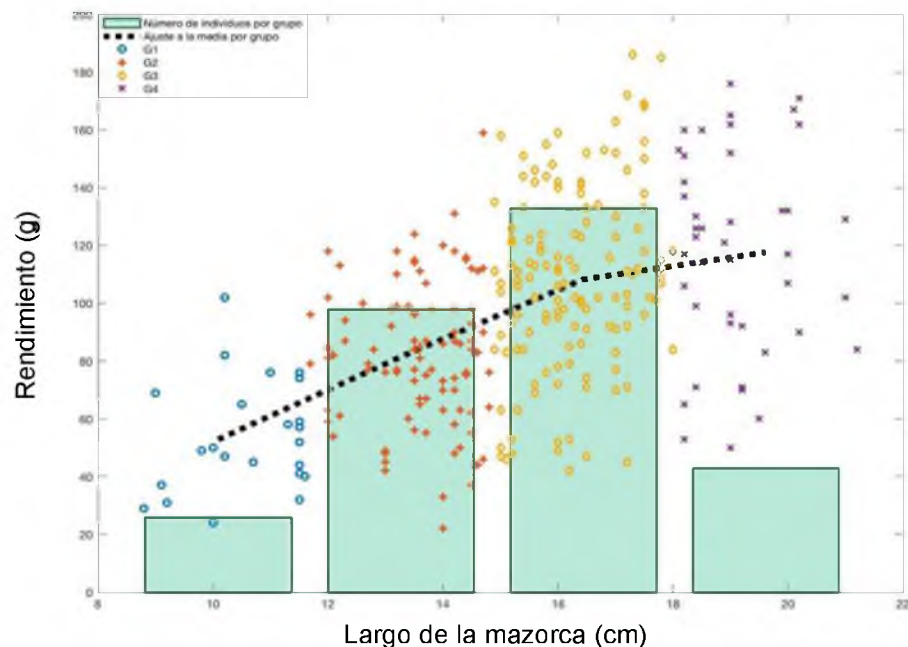
**Figura 10A.** Variación observada del rendimiento en grano de maíz criollo de temporal en función al totomoxtle abierto o cerrado. G1, G2, G3 y G4: Intervalos de clase.



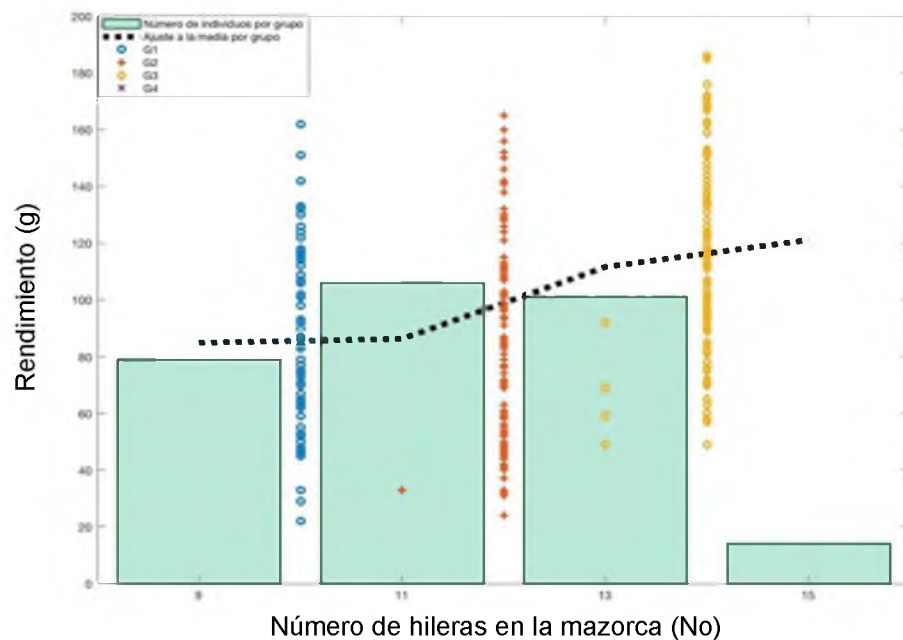
**Figura 11A.** Variación observada del rendimiento en grano de maíz criollo de temporal en función al peso de la mazorca. G1, G2, G3 y G4: Intervalos de clase.



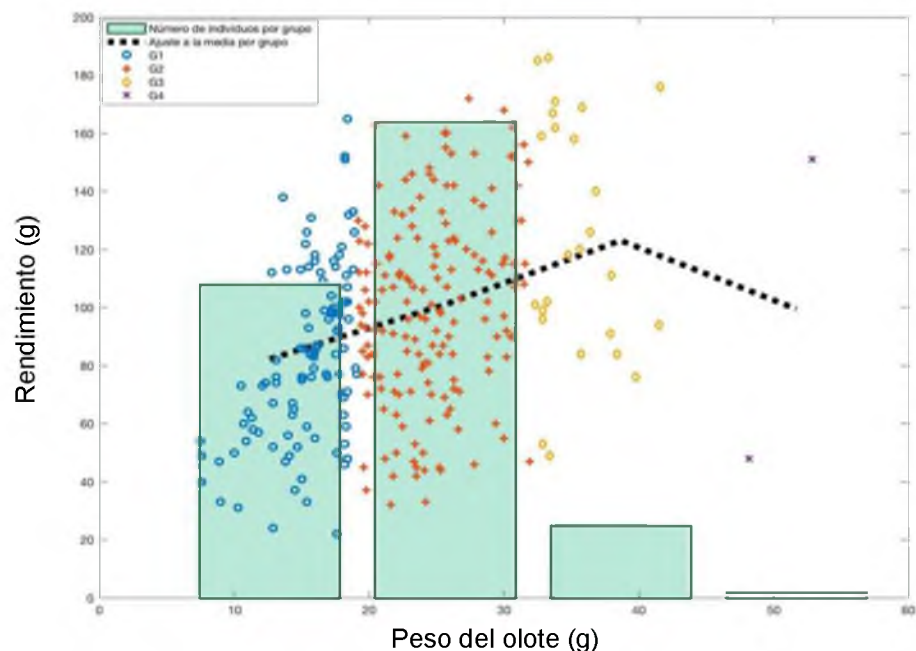
**Figura 12A.** Variación observada del rendimiento en grano de maíz criollo de temporal en función al diámetro de la mazorca. G1, G2, G3 y G4: Intervalos de clase.



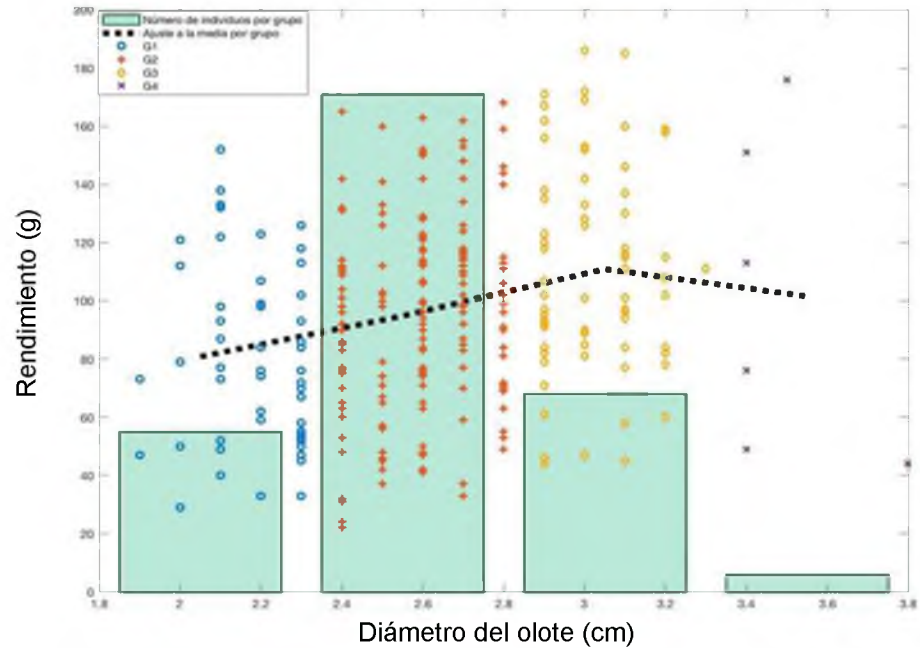
**Figura 13A.** Variación observada del rendimiento en grano de maíz criollo de temporal en función al largo de la mazorca. G1, G2, G3 y G4: Intervalos de clase.



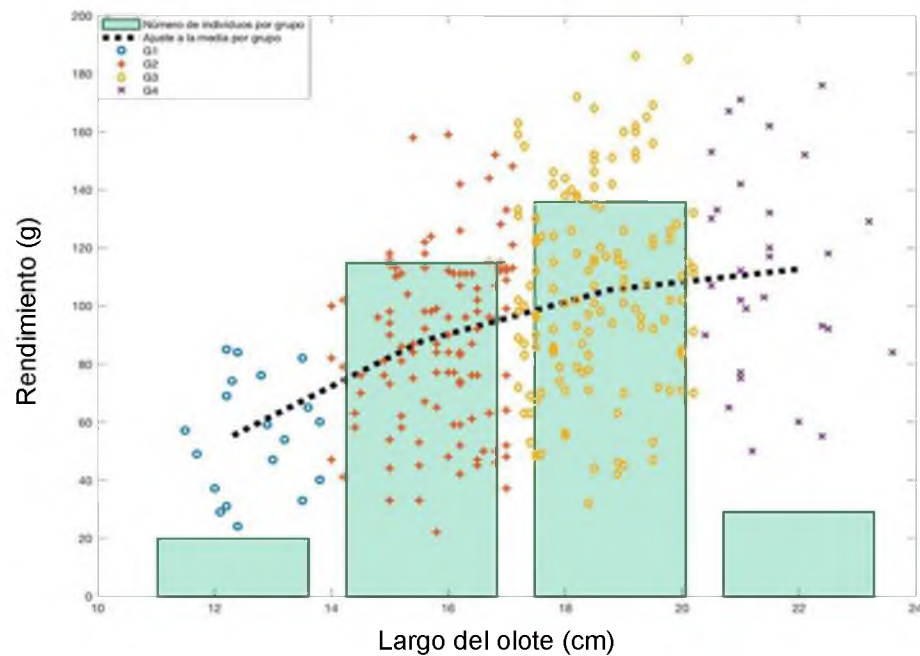
**Figura 14A.** Variación observada del rendimiento en grano de maíz criollo de temporal en función al número de hileras en la mazorca. G1, G2, G3 y G4: Intervalos de clase.



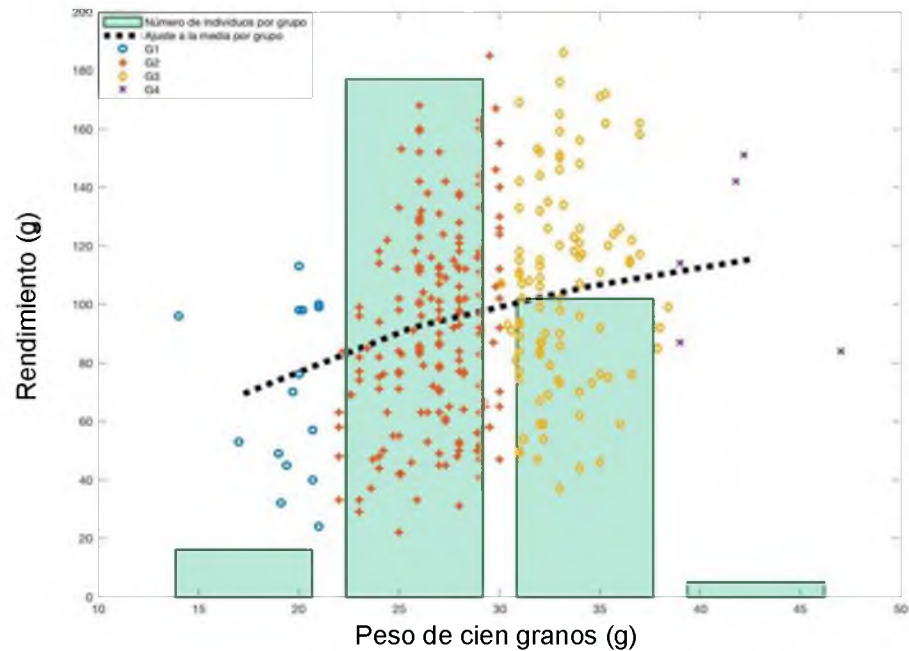
**Figura 15A.** Variación observada del rendimiento en grano de maíz criollo de temporal en función al peso del olote. G1, G2, G3 y G4: Intervalos de clase.



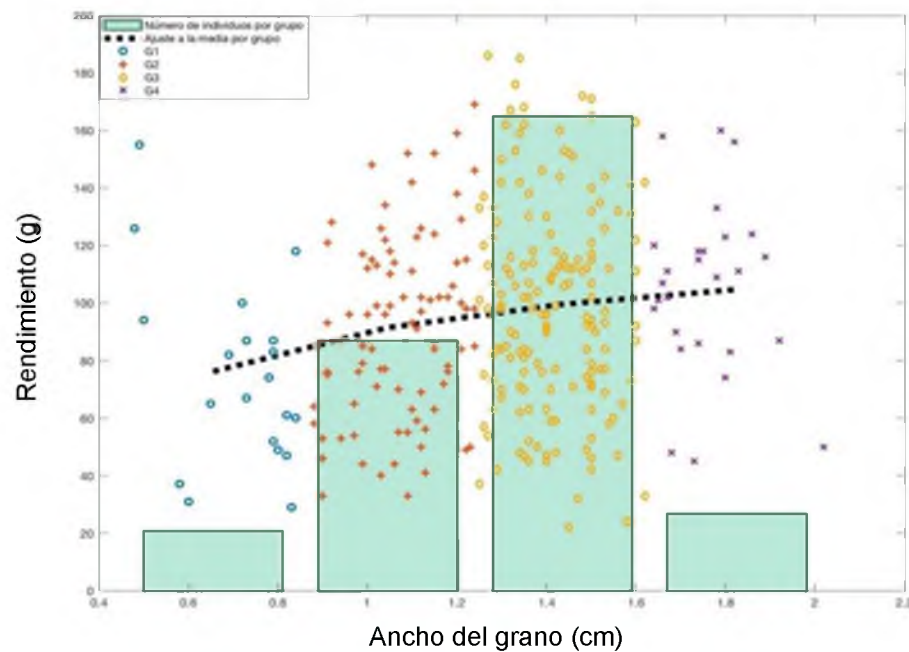
**Figura 16A.** Variación observada del rendimiento en grano de maíz criollo de temporal en función al diámetro del olote. G1, G2, G3 y G4: Intervalos de clase.



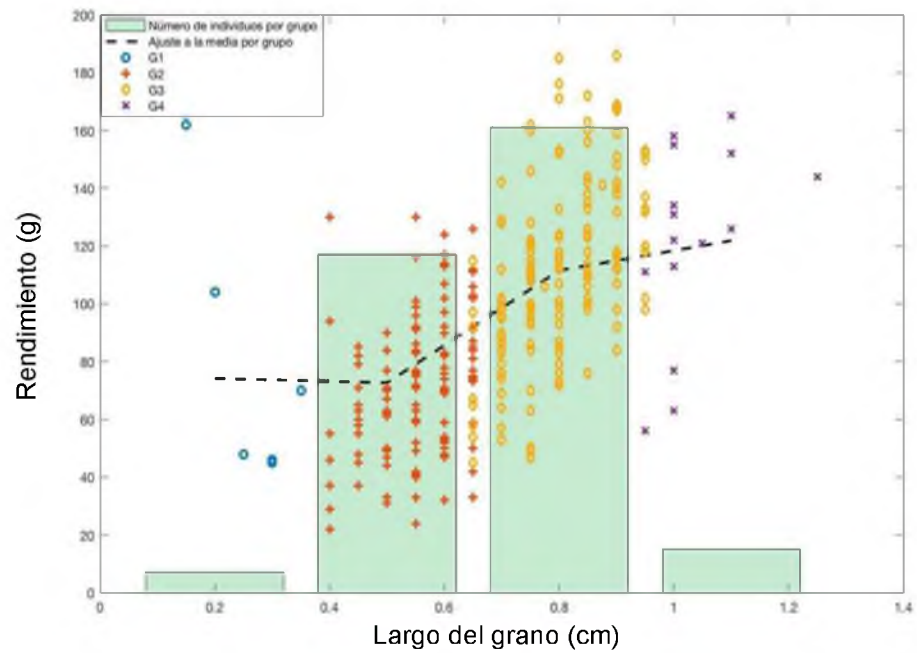
**Figura 17A.** Variación observada del rendimiento en grano de maíz criollo de temporal en función al largo del olote. G1, G2, G3 y G4: Intervalos de clase.



**Figura 18A.** Variación observada del rendimiento en grano de maíz criollo de temporal en función al peso de cien granos. G1, G2, G3 y G4: Intervalos de clase.



**Figura 19A.** Variación observada del rendimiento en grano de maíz criollo de temporal en función al ancho del grano. G1, G2, G3 y G4: Intervalos de clase.



**Figura 20A.** Variación observada del rendimiento en grano de maíz criollo de temporal en función al largo del grano. G1, G2, G3 y G4: Intervalos de clase.